



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för Skogens Biomaterial och
Teknologi

En analys över Bastuträskterminalens internlogistik

An analysis of Bastuträsk terminal's internal logistics

Victor Spjut

Examensarbete • 30 hp A2E

Jägmästarprogrammet

Arbetsrapport 2018

Sveriges Lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 2019:4

En analys över Bastuträskterminalens internlogistik

An analysis of Bastuträsk terminal's internal logistics

Victor Spjut

Handledare:	Dan Bergström, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
Examinator:	Carola Häggström, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
Omfattning:	30 hp
Nivå och fördjupning:	Avancerad nivå, A2E
Kurstitel:	Master thesis in Forest Sciences at the Department of Forest Biomaterials and Technology
Kursansvarig inst.:	Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
Kurskod:	EX0832
Program/utbildning:	Jägmästarprogrammet
Utgivningsort:	Umeå
Utgivningsår:	2019
Serietitel:	Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serien:	2019:4
Elektronisk publicering:	https://stud.epsilon.slu.se
Nyckelord:	inlåsningsseffekt, lastningsarbete, produktivetsmodell, modellering, Volvo L180E

Sammanfattning

Terminaler är viktiga lagernoder och buffertpunkter för att säkerhetsställa material till industrier. Ett lager bör utformas så att materialet är lättåtkomligt och har hög fyllnadsgrad. Uttagningsprincipen av material ur lagret är viktigt för att skapa effektivt logistikflöde och främst tillämpas principerna; SIFU (sist in, först ut) och FIFU (först in, först ut).

Bastuträskterminalen i Norsjö kommun är en fristående tågterminal som lagerhåller och distribuerar skogsråvaror. Terminalen tillämpar i dagsläget uttagningssprincipen SIFU som bidrar till inläsningar av vissa lagerpartier och har således låg omsättningshastighet av materialet på lagret.

Syftet med studien var att kartlägga terminalens virkesflöde, tidsstudera lastmaskinerna för att skapa produktivitetsmodeller. Detta för att modellera lagerdesigner och analysera lastmaskinens arbete vid lastning av tåg beroende på lagerdesign som minimerar inläsningseffekter. Tre lagerdesigner med FIFU och nulägesdesignen med SISU modellerades och jämfördes med avseende på lastningstid per tågset samt omsättning av lager.

Vid en lagervolym på 19 807 m³fub barmassa medförde FIFU en ökning av omsättningshastigheten från 49 tåg till 19 tåg. Nulägesdesignen hade dock lägst tidsåtgång för lastning av ett tåg på 5,91 timmar/tåg, vilket var 9 % lägre än den FIFU-design som hade lägst tidsåtgång.

För lagret med lövmassa, 3615 m³fub, medförde FIFU att omsättningshastigheten ökade från 7 tåg till 4 tåg. I detta fall hade både nulägesdesignen och FIFU-designerna en tidsåtgång på 7,04 timmar/tåg.

Slutsatsen är att minimering av inläsningseffekter på lagret leder till fördubblad omsättning av lager för barmassa, och något mindre för lövmassan. Dock ökar tidsåtgången med 9–22 % för lastning av tåg för barrsortimentet. Terminalen bör göra en avvägning mellan kvalitet på råvaran och kostnader av tidsåtgång/tåg samt investeringskostnader för beslut om en omstrukturering av lagerdesign skall genomföras.

Nyckelord: inläsningseffekt, lastningsarbete, produktivitetsmodell, modellering, Volvo L180E

Abstract

Terminals are important storage nodes in order to ensure materials to industries. A storage area should be designed in a way that makes the material easily accessible and the capacity to store a large amount of materials. The principal of withdrawal of material from the storage area is important in order to create efficient logistics flow. The main principles applied are LIFO (Last In, First Out) and FIFO (First in, First out).

The Bastuträsk terminal in the municipality of Norsjö is a freestanding terminal that stores wood raw materials. The terminal has currently set out the principle of LIFO, which entails locking effects and therefore a lower turnover of the terminal stock.

The purpose of the study was to chart the current logistics flow of raw materials at the terminal and execute time-studies of the load machines work to create productivity models. Giving the information, be able to model and analyze storage designs and the load machines work when loading the trains depending on storage designs that minimizes the locking effects. Three storage designs based on the principle FIFO and current storage design based on the principle LIFO was modelled and compared regards to loading time per trainset and turnover of the storage.

At a storage volume of 19 807 m³fub of coniferous material, FIFO brought an increase in turnover rates from 49 trains to 19 trains. However, the original storage design had the lowest time required for loading a train of 5,91 hours/train, which was 9 % lower than the FIFO design with the lowest time required.

For the stocks consisting of non-coniferous material, 3616 m³fub, FIFO brought the turnover rate from 7 train to 4 trains. In this case, both the original storage design and the designs based on the principle of FIFO had a 7,04 hour/train required time.

The conclusion is that minimization of locking effects at the storage leads to doubled turnover of storage for coniferous materials, and slightly less for non-coniferous material. However, the time required for loading of trains with coniferous material, increased by 9-22 %. The terminal should make a consideration between the quality of the raw material and the cost of time per train as well as investments costs for deciding if a restructure of the current storage design shall be implemented.

Keywords: locking effects, loading method, productivity model, modelling, Volvo L180E

Förord

Detta examensarbete är på 30 högskolepoäng och har genomförts vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Examensarbetet har utförts på Bastuträskterminalen AB. Ett stort tack till VD för Bastuträskterminalen, Per Rud-Petersen, som tillhandahållit värdefull information för denna studie och gjort det möjligt att genomföra studierna. Jag vill även tacka maskinförarna som har haft tålamod och god förståelse för de studier som de har varit delaktiga i. Sist men inte minst vill jag tacka min eminente handledare Dan Bergström som har delat med sig av sin kunskapsbank under arbetet och som på sluttampen har korrekturläst och varit snabb med feedback. Stort tack!

Innehållsförteckning

1	Inledning	8
1.1	Skogsbrukets råvaruflöden och logistiksystem	8
1.1.1	Skogsbrukets terminaler	9
1.1.2	Lagerteori	10
1.1.3	Lagerdesign	10
1.1.4	Lagerplacering	11
1.1.5	Genomströmning och åtkomsttid av råvaror och produkter	12
1.1.6	Uttagningsprinciper vid lagerrhållning	12
1.2	Bastuträskterminalen AB	13
1.3	Problemformulering	14
1.4	Syfte	15
1.4.1	Avgränsningar	15
2	Material och metod	16
2.1	Nulägesbeskrivning av Bastuträskterminalen	17
2.1.1	Fallstudie på Bastuträskterminalen	17
2.2	Modellering av lagerdesigner	22
2.2.1	Volymberäkning av modellerade vältor	23
2.2.2	Medeltransportavstånd för lastmaskinen mellan välta och tågagn	23
2.2.3	Beräkningar för tågvolym	23
2.2.4	Beräkning för omsättningshastigheten på lagren	24
2.3	Analys av lagerdesigner	25
2.3.1	Nyckeltal i resultatet för lagerdesignerna	25
3	Resultat	27
3.1	Nulägesbeskrivning	27
3.1.1	Material – och informationsflödet på Bastuträskterminalen	27
3.1.2	Lagerstrukturen på Bastuträskterminalen	28
3.1.3	Lagervolym på Bastuträskterminalen	29
3.1.4	Lastningsarbetet på tåg	30
3.2	Tidsstudie på lastmaskinens lastningsarbete på Bastuträskterminalen	31
3.3	Lastmaskinernas hastighet vid körning med – och utan last	33
3.3.1	Lastmaskinernas hastighet vid backning	34
3.4	Lastmaskinens produktivitetsmodell	35
3.5	Nulägesanalys	35
3.5.1	Lagerdesignen på Bastuträskterminalen	35
3.6	Nya lagerdesigner	37
3.6.1	Design 1	38

3.6.2	Design 2	39
3.6.3	Design 3	40
3.6.4	Sammanställning avnyckelvärden mellan nulägesdesignen och de nya designerna	41
4	Diskussion	43
4.1	Resultat	43
4.1.1	Nulägesbeskrivning	43
4.1.2	Tidsstudie	43
4.1.3	Lastmaskinens medelhastighet	44
4.1.4	Produktivitetsmodell	45
4.1.5	Nya lagerdesigner	46
4.2	Osäkerhet i studien	47
4.3	Framtida studier	48
4.4	Slutsats	48
5	Referenser	50

1 Inledning

1.1 Skogsbrukets råvaruflöden och logistiksystem

Den skogstekniska revolutionen i Sverige hade sin start i slutet av 1940-talet (Kardell, 2004). Sedan dess har det svenska skogsbruket genomgått stora förändringar, antalet skogsindustrier har minskat, medan de kvarvarande industrierna har blivit allt större. Detta har bidragit till att industriernas virkesförsörjningsområde har blivit mer utbrett och medeltransportavståndet har ökat (Fjeld & Dahlin, 2008). Logistikkostnader och materialadministrativa kostnader för skogsindustrier ökar och utgör idag en allt större del av den totala produktionskostnaden. Det är således viktigt att undersöka logistiken både internt inom industrin och externt ut till råvaruleverantörer, samt slutkunder för att öka kostnadseffektiviteten (Pewe, 1993).

År 2013 uppgick nettoavverkningarna i Sverige till 70,1 miljoner m³fub, varav 69,3 miljoner m³fub levererades till skogsindustrier inom Sverige. De tre vanligaste sätten att transportera skogsråvara från skog till industri är via lastbil, tåg och båt. Transporter av skogsråvara och skogsindustriprodukter utgjorde 22 % av Sveriges transportarbete med lastbil och tåg år 2012. Från skogen till industrierna passerar materialet flera anhalter i form av lagerplatser. Vid år 2013 årsslut fanns det 2,3 miljoner m³fub sågtimmer, 3,7 miljoner m³fub massaved och 1,0 miljoner m³fub massaflis i lager. Lagerhållning av virkesvolym har minskat sedan 1970-talet. Det finns dock vissa år där lagerhållningen av virkesvolym har varit hög, till exempel år 2005 efter stormen Gudrun och 2007 efter stormen Per (Skogsstyrelsen, 2014).

Historiskt sätt har det inte lagerhållits skogsprodukter på terminaler inom skogsbruket. Lagring på terminaler har dock ökat sedan stormarna för att kunna lagra stora volymer som blåst ner. I dagsläget finns flera öppna terminaler där ett eller

flera företag är driftansvarig och har avtal med kunder som lagrar material på terminalen. I Sverige finns flera etablerade fristående terminaler som lagerhåller skogsprodukter i flödeskedjan. En annan typ av terminal är sluten terminal. Det innebär att terminaler är ägs av ett bolag som lagerhåller sitt eget material, som inte behöver hyra tjänsten att få lagerhålla material (Enström et al., 2013).

Vid terminalen lossas virket från timmerlastbilarna med lastmaskiner och, direktlastas antingen på tåg eller läggs i lager. På timmerplanen har lastmaskinerna en mycket väsentlig roll för den interna logistiken. För att minimera kostnaderna på lastmaskinerna bör de ha ett effektivt och strukturerat arbetssätt, till exempel genom att minimera transportsträckor (Berglund, 2014). En korrekt och effektiv materialhantering är viktigt då felplacering av material bidrar till minskad produktivitet och ökade bränslekostnader (Lundahl, 2009). För att minimera transportkostnader inom lagret behöver utformning och placering av lagret vara konstruerade utifrån lagringsyfte och förutsättningar i form av olika lagerrestriktioner (Jonsson och Mattsson, 2011).

Lumsden (2006) och Jonsson & Mattsson (2016) definierar logistik som planering, organisering och styrning av alla typer av aktiviteter inom material- och informationsflödet. Logistik kan definieras som materialflöden där materialet ska vara på rätt plats vid rätt tillfälle på ett kostnadseffektivt sätt (Jonsson & Mattsson, 2016).

1.1.1 Skogsbrukets terminaler

De vanligaste transportalternativen för landbaserade system är via järnväg och/eller lastbil (Lumsden, 2006). Intermodala transporter avser transporter som kombineras med olika transportslag, till exempel lastbil och tåg (Jonsson & Mattsson, 2011).

Järnvägstransport är konkurrenskraftigt vid längre transportsträckor och har stor lastkapacitet, medan lastbilstransport har hög flexibilitet och snabbhet (Pewe, 1993). Intermodala transporter, är därför att föredra för att täcka hela skogsindustrins virkesförsörjningsområde. För aktörer som kombinerar dessa transporter behövs tillgång till terminaler. Terminaler är en geografiskt utplacerad lagernod i flödeskedjan. De bör vara strategiskt placerade i närheten av marknaden för att vara en säkerhet och en lagerbuffert för fluktuationer i produktion, distribution och efterfrågan. Inom skogsindustrin blir virkesterminaler en lagerbuffert för att säkra inleveranser av råvara till industri. Terminaler har också fördelen att sänka den totala transportkostnaden genom intermodala transporter. Detta eftersom lastbilar kan köra i utkanten av upptagningsområdena till den närmsta terminalen och tågen kör

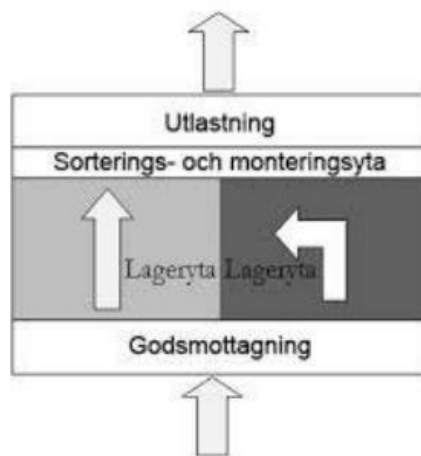
de längre avstånden från terminal till industri (Storhagen, 2011) (Tahvanainen & Anttila, (2011).

1.1.2 Lagerteori

Det finns generellt sett två orsaker till lagerhållning av material, antingen förbruka material för produktion eller för att lagra en buffert av material (Jonsson och Mattsson, 2011). Lagerhållning av material kan ses som en kostnad med bundet kapital i lagret, maskinpark och personal som arbetar inom lagret (Pewe, 1993). Att ha lager behöver dock nödvändigtvis inte vara fel. Det gäller att utifrån förutsättningarna anpassa lagrets storlek. Det finns inget bestämt begrepp hur ett lager ska vara utformat. Önskvärt är att ett lager har hög fyllnadsgrad- men samtidigt som lagerhållningskostnaderna minimeras. En stor andel av utgifterna är transportkostnaderna för lastmaskiner inom lagret (Lumsden, 2006).

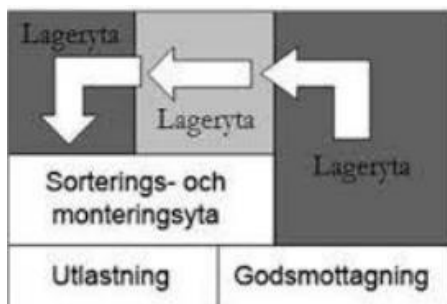
1.1.3 Lagerdesign

Ett lager måste förutom att ha hög fyllnadsgrad också vara utformad för att det ska vara lättåtkomligt för lastmaskinerna att komma åt materialet. Körstråken ska vara korrekt utformade för att lastmaskinen lätt ska kunna ta sig fram på lagerytorna både vid inkörning, lastning av material och transport ut ur lagret (Tompkins et al., 2010). Vid design av ett lager är målet att det skapas rationella flöden med en hög utnyttjandegrad. Materialflödet i ett lager är antingen linjärt (Fig.1) eller u-format (Fig.2). Vid linjär utformning så sker inkörningen av materialet i ena sidan av lagret och utleveranserna sker i andra ändan av lagret. Lager av stora volymer med få produkter kan en linjär design vara fördelaktig. En u-format design är när inkörning av material och utleveranserna är vid samma ände av lagret (Jonsson & Mattsson, 2016).



Figur 1. Lagerdesign med linjärt flöde
(Jonsson & Mattson 2005).

Figure 1. Storage design with linear-material flow (Jonsson & Mattson 2005).



Figur 2. Lagerdesign med U-format flöde
(Jonsson & Mattson 2005).

Figure 2. Storage design with U-shaped material flow (Jonsson & Mattson 2005).

1.1.4 Lagerplacering

För att materialet på ett lager ska vara lättåtkomligt är placeringen av material en viktig faktor. En typ av lagerplacering är att använda zonindelningar. Det innebär att material lagrhålls i olika zoner, där material som hanteras likvärdigt lagrhålls tillsammans (Jonsson & Mattsson, 2016).

Lagerplacering av material är oftast fast eller flytande. En fast placering av material innebär att materialet har en förutbestämd lagerplats. Vid fast placering är det lättare att frekvenslägga materialflödet, som innebär att det material som används i störst utsträckning ska lagras mest lättåtkomligt. Motsatsen mot fast placering är flytande placering av material. Det innebär att material lagras i mån av plats i lagret. Flytande lager kräver mindre lagerutrymme, men större svårigheter vid uttag av material då struktur saknas (Lumsden, 2006) Det går även att kombinera dessa två lagerplaceringar. De fasta placeringarna används för material som har hög omsättningshastighet, medan de flytande placeringarna fungerar som buffertlager (Jonsson & Mattsson, 2011).

Popularitetplacering/frekvensläggning bygger på en ABC- uppdelning som hanteras efter volymer eller plockfrekvens. Det material som används mest i lagret och som har en hög frekvens blir indelad i grupp-A, de material som har mindre volymer blir B-grupp och så vidare. Materialet placeras i lagret så de läggs i

grupptillhörigheten. Den grupp som behandlas mest i lagret lagras så det är lätt att komma åt och plocka ut. På så sätt minskar transportarbetet (Lumsden, 2006).

1.1.5 Genomströmning och åtkomsttid av råvaror och produkter

För att bestämma vilken typ av lagerprincip som ska användas kan genomströmning och åtkomsttider definieras. Genomströmning innebär hur stor volym som flödar genom lagret. Åtkomsttiden är den tid det tar från att materialet ska tas ut, tills att det är uttaget (Lumsden, 2006).

Åtkomsttiden påverkas av placering av material i lager. Frekvensläggning av material kommer öka effektiviteten då det blir mindre transportavstånd att få ut det material som har högre omsättning. Ett ostrukturerat och svåråtkomligt lager ökar åtkomsttiden, vilket innebär längre tidsåtgång att ta ut materialet (Lumsden, 2006). Omsättning/omsättningshastighet kommer i denna studie att definieras som antal tåg som behöver avgå, fullastade, innan den äldsta råvaran på lagret har transporterats från lagret.

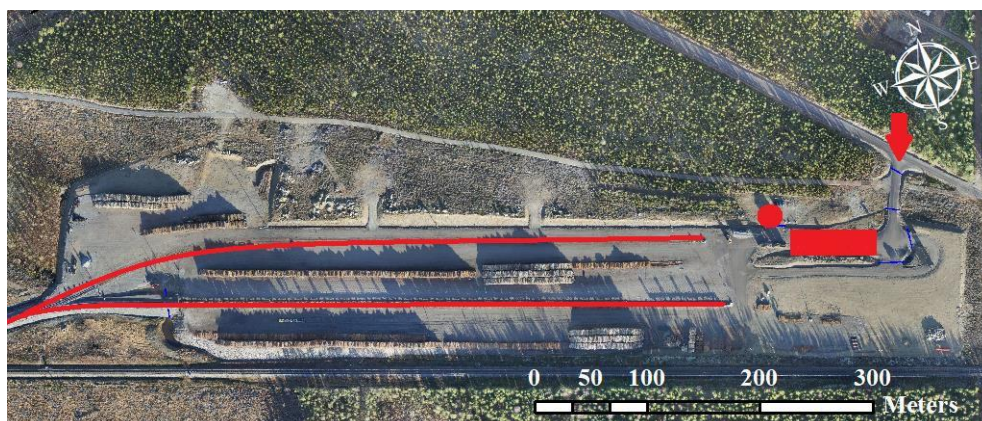
1.1.6 Uttagningsprinciper vid lagerhållning

Genomströmningen i lagret baseras främst på uttagningsprincipen. Uttagningsprincipen innebär i vilken ordning det inkommande materialet sedan lämnar lagret. Exempel på uttagningsprinciper är FIFU (först in, först ut) och SIFU (sist in, först ut). Vid FIFU är det materialets maximala tid i lagret som blir lika med lagrets omsättningshastighet. Lagringstiden blir lika lång för allt material, förutsatt att omsättningshastigheten av lagret är densamma över tiden (Lumsden, 2006).

Lagret måste vara utformad på sådant sätt att det finns tillgång till allt material att det äldsta materialet alltid går att ta ut. Vid SIFU kan den totala lagertiden bli evig, vilket innebär att vissa partier av materialet blir liggandes på lager under lång tid. Anledningen till att material kan bli liggandes i lager kan bero på inlåsnings effekter i lagret, som gör att det äldsta materialet inte går att komma åt. Det finns negativa effekter med att lagrhålla material under lång tid då materialets kvalitet kan påverkas negativt och på så sätt påverka materialets ekonomiska värde (Lumsden, 2006).

1.2 Bastuträskterminalen AB

Bastuträskterminalen är en fristående terminal som lagerhåller skogsprodukter (Fig.3). År 2016 lagrades totalt cirka 165 000 m³ fub på terminalen för omlastning från lastbil till tåg som vidaretransport till olika skogsindustrier¹. Bastuträskterminalen ägs av Norsjö kommun som i sin tur arrenderar ut den till Terminalen i Bastuträsk AB (TBAB), det ägs av Norsjöfrakt AB, Fabriken i Bastuträsk AB samt BW Skogsbilarna AB. Terminalen invigdes under hösten 2012 och har sedan dess expanderat med bland annat ett till järnvägsspår. Anledningen till expanderingen är att terminalen fungerar som ett viktigt nav i regionen med stambanan som går förbi Bastuträsk (Fig.4). Driften på terminalen sköts av separata bolaget Terminalen i Bastuträsk AB, vilket gör att terminalens ytor nyttjas av flera bolag. Terminalens geografiska läge vid järnvägens stambana bidrar till stora logistiska fördelar att enkelt omlasta från lastbil till tågtransport, eller vice versa. Terminalen har många tjänster, vilket bidrar till en stor kundkrets där alla har speciella önskemål. Kärnverksamheten är omlastning av framförallt rundvirke från bil till tåg, eller tvärtom (Bastuträskterminalen.se).



Figur 3. Översiktsbild på Bastuträskterminalen. Röda pilen visar infarten in på terminalen. De röda linjerna är järnvägsspåren på terminalen. Den röda cirkeln är stugan där lastbilschaufförerna registrerar sitt lass. Den röda rektangeln visar vart kameramätningen av lasten sker. Norr om översta spåret finns en mindre lageryta. Mellan spåren är en annan lageryta och även söder om spåren finns en lageryta. Det nordliga spåret är så kallat "gaturails-spår" som innebär att spåret är på marknivå och det sydliga spåret är upphöjt från marken cirka 50 centimeter.

Figure 3. Overview of Bastuträsk terminal. The red arrow shows the entry to the terminal. The red lines are the railroad tracks at the terminal. The red dot shows where the truck drivers register its load. The red rectangle shows the measurement camera of the loads. North of the top track is a smaller storage area. Between the tracks are another storage area and there is also a storage area

¹ Per Rud-Petersen terminalansvarig Bastuträskterminalen. Personlig kommunikation 13 september 2017.

south of the track. The northern track is called "street-rail track" which means that the track is at ground level and the southern track is raised from the ground about 50 centimeters.



Figur 4. Kartbild över norra Sverige som visar vart Bastuträskterminalen är placerad i förhållande till Stambanan i röd linje (Bastutraskterminalen.se).

Figure 4. Map of northern Sweden showing where Bastuträsk is located in relation to the Stambanan, which is the red line in the map.

1.3 Problemformulering

Bastuträskterminalen består av två järnvägsspår in på terminalen (se Fig. 3). I dagsläget har terminalen tre lagringsytor vid spåren. Det nordliga spåret är på marknivå, en form av gaturail-spår, där lastmaskinerna kan köra över rälsen. Det sydliga spåret som ligger mer centrerat på terminalen är upphöjd cirka en halvmeter.

Det gör att lastmaskinerna måste köra runt sydliga spåret för att komma åt resterande lagerytor på andra sidan. Bastuträskterminalen har i dagsläget problem att komma åt somliga timmervältor på grund av inlåsnings effekter på vissa lagerytor. Inlåsnings effekterna bidrar till att de har låg omsättnings hastighet på deras lager. De vill därför undersöka om det är möjligt att omstrukturera lagret för att uppnå uttagsprincipen FIFO, på sådant sätt att tidsåtgången vid lastnings arbetet av tåg inte ökar.

1.4 Syfte

Syftet med studien var att:

1. Beskriva och kartlägga virkesflödet utifrån lagerdesign på Bastuträskterminalen.
2. Utifrån tidsstudier skapa en produktivitetsmodell för lastmaskinernas tidsåtgång vid lastning av tåg.
3. Modellera förslag på lagerdesigner som minimerade inlåsnings effekter av rundvirke.
4. Analysera effekterna av ändrad lagerdesign på lastnings arbetet för lastmaskinerna.

1.4.1 Avgränsningar

Studien avgränsades till att omfatta råvaruhantering från att råvaran anlände till terminalen, tills det lämnades på tåg. Fokusområdet var terminalens lagerdesign samt hur lastmaskinerna arbetade vid lastning av tåg.

2 Material och metod

En nulägesanalys genomfördes på Bastuträskterminalen. Första steget i analysen var att skapa en objektiv bild av Bastuträskterminalens nuvarande situation, därefter identifierades eventuella problemområden och slutligen presenterades förslag på förbättringsåtgärder.

Studien delades upp och genomfördes kronologiskt i följande fyra steg:

1. Beskrivning av nuvarande situation på Bastuträskterminalen, benämnd som nulägesbeskrivning i denna studie, innefattade följande delsteg genom observationer, intervjuer och arbetsmätning på plats:
 - Kartläggning och beskrivning av material- och informationsflödet.
 - Kartläggning och beskrivning av nuvarande lagerdesign, i studien benämnd som nulägesdesign.
 - Kartläggning och arbetsmätning i form av tidsstudier av lastmaskinens lastningsarbete.
2. Bastuträskterminalens identifierade problem var nulägesdesignen med uttagningsprincipen SIFU. Nya lagerdesigner med uttagningsprincipen FIFO modellerades i ett ortofoto via ArcMap som förslag på förbättringsåtgärder.
3. En tidsstudie per järnvägsspår genomfördes (Steg 1.). Resultaten från tidsstudierna användes sedan för att skapa en produktivetsmodell för lastmaskinen per järnvägsspår.
4. Produktivetsmodellen användes i de modellerade lagerdesignerna. Nulägesdesignen och de nya lagerdesignerna analyserades med avseende på tidsåtgången för lastningstid av tåg, samt omsättningshastighet av lagerråvarorna.

2.1 Nulägesbeskrivning av Bastuträskterminalen

2.1.1 Fallstudie på Bastuträskterminalen

En fallstudie är en sammanfattad benämning för de metoder som används för att ingående studera ett fall eller en process. En fallstudie innehåller i regel flera olika datainsamlingsmetoder beroende på syftet med studien (Olsson & Sörensen, 2007).

Beskrivningen av datainsamling enligt Olsson & Sörensens (2007), användes som grund för insamling av data till nulägesbeskrivningen av Bastuträskterminalen. Detta för att skapa en objektiv helhetsbild över terminalens interna logistik och lagerstruktur. Datat som användes i studien var dels primärdata, insamlat data och sekundärdata, befintliga data, definierat i Patel Davidson (2011).

2.1.1.2 Kartläggning på Bastuträskterminalen

Observationer genomfördes på Bastuträskterminalen hösten 2017. Sammanlagt genomfördes observationerna under tre dagar på terminalen. Syftet med observationerna var främst lastmaskinens arbete vid lastning av tåg, samt terminalens lagerdesign. Lastmaskinernas arbete studerades i två arbetsdagar och lagerdesignen studerades en dag.

Utöver observationer genomfördes även kvalitativa intervjuer, utifrån Yin & Retzlaff (2013). Detta genom att frågor ställdes till anställda som jobbade på terminalen för att styrka och utöka informationen från observationerna över arbetet på terminalen (Olsson & Sörensen, 2007).

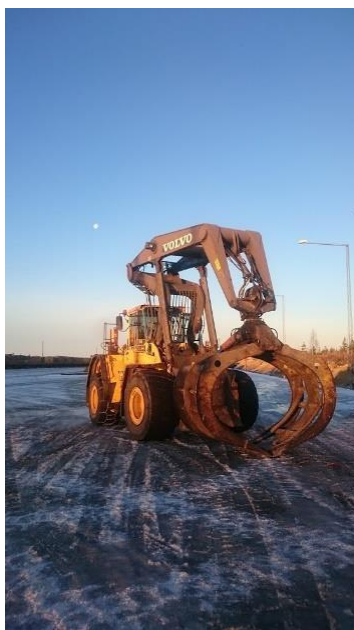
Utifrån observationerna och kvalitativa intervjuer kunde en nulägesbeskrivning av terminalen dokumenteras i skrift.

2.1.1.3 Tidsstudier på Bastuträskterminalens lastmaskin

En arbetsmätning syftar till att fastställa ett arbets standardtider i en produktion. Tidsstudie är en form av arbetsmätning, som kan förklaras som en direktanalys av tidsåtgången för ett arbete. Tidsstudier tillämpas främst för studier med höga krav på mätningar av repetitiva röreslemönster. Innan påbörjad mätning behöver arbetets röreslemönster delas in i olika steg, arbetsmoment, för att det ska bli definierat och mätbart. I tidsstudier används främst stoppur eller videoupptagning som hjälpmedel för att mäta arbetsprestationen (Olhager, 2013).

Tidsstudie på en av Bastuträskterminalens lastmaskiner genomfördes, för att mäta lastningsarbetet på tåg för respektive järnvägsspår. Lastmaskinens repetitiva rörelsemönster, benämnd som arbetscykel, delades in i åtta arbetsmoment (tabell 1.). Tidtagning mättes med en filmkamera, av märket SONY, för videoupptagning som placerades i lastmaskinens hytt. Videoupptagningarna från lastningsarbetet analyserades senare på kontor.

På terminalen i november år 2017 fanns två Volvo lastmaskiner av modellen L180E High-lift med roterande timmergrip (3,8m²) monterad (Fig. 5). Timmergripen kunde roteras 360 grader och var konstruerad för att lasta och lossa från toppen av timmervältornas långsida. Vändradien för maskinen var drygt 15 meter. Arbetslasten för maskinen var 8,6 ton och hade en lyfthöjd på 5,5 meter under hängande last. Denna maskin som var E-serien hade en 12 liters motor med elektroniskt styrd bränsleinsprutning som var 15–20 % mer bränslesnål än sin föregångare (volvoce.com). Vanligtvis användes endast en maskin i drift under en arbetsdag.



Figur 5. Volvo L180E High-Lift på Bastuträskterminalen.

Figure 5. Volvo L180E High-Lift at Bastuträskterminal.

Det genomfördes en tidsstudie per järnvägsspår:

1. Den första tidsstudien genomfördes på det nya spåret i norra delen på terminalen med ett tåg med 28 vagnar. Sortimentet som lastades under studien var massaved av löv, lastmaskinen lastade från vältorna i nordvästra hörnet (se Fig. 6).
2. Den andra tidsstudien genomfördes på det sydliga spåret som var upphöjt. Tåget lastades med massaved av löv på 27,5 vagnar, då en halv vagn redan var lastad när tåget anlände till terminalen. Lövvältorna lastades från lagerytan längst i väst mellan spåren (Fig. 6).

Tabell 1. Arbetsmoment för lastmaskinernas arbetscykel

Table 1. Division of the work elements for the load machine's work cycle

Arbetsmoment	Momentbeskrivning
1. Hämta virke vid vält	Momentet började när lastmaskinens hjul stannade vid vältan och avslutades när gripen var fylld och hjulen började rulla igen.
2. Backning med last	Momentet började när lastmaskinens hjul började rulla bakåt från vältan och avslutades när hjulen stod still igen.
3. Transport till tågagn	Momentet började när lastmaskinens hjul började rulla framåt och avslutades när gripen fördes över tågagnen.
4. Lossning av material	Momentet började när gripen var över tågagnen och avslutades när gripen lämnade tågagnen.
5. Backning utan last	Momentet började när hjulen rullade bakåt och avslutades när lastmaskinens hjul stannade.
6. Transport till utgångsläge	Momentet började när hjulen började rulla framåt och avslutades när hjulen stannade vid vältan.
7. Städning	Tiden som gick åt för att justera stockar som var lastad. Förekom under lastning och även efteråt när alla vagnar var lastade.
8. Övrigt	Tiden som gick åt till annat arbete, t.ex. stannade för att tidsstudiemannen behövde rätta till kamerastativet, flyttade vagnar mellan spåren osv.

När mätningarna för respektive järnvägsspår var genomförda sammanställdes data i Microsoft Excel. Medelvärden, standardavvikelse, medelfel och ett

konfidensintervall beräknades för varje arbetsmoment. Det genomfördes även ett t-test för att analysera om det fanns någon signifikant skillnad i något arbetsmoment beroende på järnvägsspår.

2.1.1.4 Lastmaskinernas medelhastighet vid transport med – och utan last

Tidsåtgången för arbetsmomenten 2,3,5 och 6 varierade beroende på transportavstånd som bidrog till att det inte gick att mäta dessa arbetsmoment via videoupptagningen. Det var därför nödvändigt att genomföra tidtagningar på lastmaskinen vid givna transportavstånd, för att beräkna lastmaskinens hastighet, för att komplettera dessa arbetsmoment. Mätningarna av dessa arbetsmoment genomfördes samtidigt som videoupptagningen av resterande arbetsmoment filmades, när lastmaskinen lastade ett tåg.

Tidtagningarna genomfördes när lastmaskinen transporterade med olastad grip, transporterade med lastad grip och när lastmaskinen backade. Tidtagningarna startade när lastmaskinens hjul började rulla och avslutades när hjulen stannade vid en tågagn. Transportavstånden mättes med GPS av modellen Garmin Astro 320 T5 som placerades i lastmaskinen. GPS-positionens precision kunde ha en felmarginal på 5 meter. För att mäta precisionen i GPS:n genomfördes kontrollmätning med en avståndsmätare, som överensstämde med precisionen i GPS:n. Avstånden som mättes var i intervallet 20–350 meter. Sammanlagt samlades det in 146 tidtagningar, 88 stycken när lastmaskinen transporterade med lastad grip, 49 stycken tidtagningar när lastmaskinen transporterade med olastad grip och nio stycken tidtagningar när lastmaskinen backade.

När tåget var lastat kompletterades vissa avstånd för att datainsamlingen skulle bli jämt fördelat inom intervallet 20–350 meter. Vid kompletteringen av tidtagningar markerades en startpunkt, därefter markerades stoppunkter i 20 meters intervall med den sista stoppunkten 200 meter från startpunkten. Maskinföraren körde från startpunkten, till de givna stoppunkterna under tidtagning. Kompletteringarna var enbart 12 stycken tidtagningar av totalt 158 stycken.

Utifrån ovanstående mätningar skapades hastighetsfunktioner med enkla linjärregressioner i Microsoft Excel för lastmaskinens tidsåtgång beroende på transportavstånd. Exempel på linjärregression:

$$y = ax + b$$

Där

y=variabel, beroende på x-värde (Lastmaskinens hastighet).

x=variabel, beroende på lastmaskinens transportavstånd (transportavstånd i meter).

K=konstant, riktningskoefficient (Lastmaskinens acceleration).

m=konstantterm (Lastmaskinens startvärde).

Hastighetsfunktionerna användes sedan för att representera tidsstudiernas arbetsmoment 2,3,5 och 6 i produktivetsmodellen (2.1.1.5).

2.1.1.5 Produktivetsmodellen

Produktivetsmodellen skapades för att beräkna medeltidsåtgång för lastmaskinens arbetscykel vid lastning av tåg beroende på transportavstånd. Hastighetsfunktionerna, som skapades utifrån arbetsmoment 2,3,5 och 6, tillsammans med medeltidsåtgången för arbetsmoment 1,4,7 och 8 i tidsstudierna skapade följande produktivetsmodell för lastmaskinens lastningsarbete:

$$AC = A1 + (y = ax + b) + (y = cx + d) + A4 + (y = ax + f) + (y = ex + f) + A7 + A8$$

Där

AC= Tidsåtgången för en arbetscykel i medelvärde för Volvo L180E High-lift.

A1= Arbetsmoment 1 (Tabell 1) medelvärde.

(y= ax+b) = Hastighetsfunktion för backning med last där x är medeltransportavstånd i meter.

(y=cx+d) = Hastighetsfunktion för körning med last, där x är medeltransportavstånd i meter.

A4= Arbetsmoment 4 (Tabell 1) medelvärde.

(y=ax+f) = Hastighetsfunktion för backning utan last, där x är medeltransportavstånd i meter.

(y=ex+f) = Hastighetsfunktion för körning utan last, där x är medeltransportavstånd i meter.

A7= Arbetsmoment 7 (Tabell 1) medelvärde.

A8= Arbetsmoment 8 (Tabell 1) medelvärde.

Medelvärdena för de arbetsmoment som det var signifikant skillnad mellan järnvägsspåren, utifrån T-testet (2.1.1.3), byttes ut beroende på vilket spår produktivetsmodellen användes till.

2.1.1.6 Historisk lagerdata från Bastuträskterminalen

Det historiska data som användes i studien tillhandahölls av Per Rud-Petersen som var Platschef på Bastuträskterminalen². Data över lagerhistoriken på terminalen användes som indata för modellering av lagerdesignernas volymer.

Virkesmätarföreningen (VMF-Nord) utförde inventeringar varje månad på terminalens lager som sedan sammanställdes i Microsoft Excel. Mätningar på välternas längd, höjd och vedlängd utfördes samt skattades en fast vedkvot för varje sortiment. Mätningarna multiplicerades sedan för att få fram hur många kubikmeter fast (m³f) som fanns i respektive vält och sortiment:

$$\text{Längd} \cdot \text{Höjd} \cdot \text{Vedlängd} \cdot \text{Vedkvot} = \text{Kubikmeter fast}$$

Datat som sammanställdes för denna studie var från 2015-06-01 fram till 2017-09-29 (Fig.7).

Data över totalt inkörd volym av alla sortiment per dag från Bastuträskterminalen användes för att uppskatta lagrets omsättningshastighet på terminalen.

2.2 Modellering av lagerdesigner

Alla designer som skapades i studien modellerades med lika stor volym, 19 807 m³ barr och 3615 m³ löv. Volymerna var från VMF:s inventeringar där ovanstående volymer var den månad som det hade lagerhållits mest volym historiskt. Utifrån problemformuleringen (Kap 1.3) önskade Bastuträskterminalen att inlåsningseffekterna minimerades och omsättningshastigheten ökade på deras lager. För att lösa lagerproblemet konstruerades de nya lagerdesignerna utifrån uttagningssprincipen FIFO (Kap. 1.1.6) på terminalen. Lagerdesignerna modellerades i ArcMap. Genom att georeferera ett ortofoto från en drönbild över Bastuträskterminalen kunde en skalenlig bild över anläggningen skapas.

Vid modellering av nya lagerdesigner skapades först en modell över nulägesdesignen med uttagningssprincipen SIFU. Det skapades därefter sammanlagt tre nya lagerdesigner med uttagningssprincipen FIFO.

² Per Rud-Petersen terminalansvarig Bastuträskterminalen. Personlig kommunikation 13 september 2017.

2.2.1 Volymberäkning av modellerade vältor

När vältorna modellerades i ArcMap användes VMF:s data för att genomföra en uppskattning för hur stora lagerytor som täcktes av virkesvältor. Utifrån det data uppskattades ett generellt värde per sortiment för hur mycket m³f som en meter vältor innehöll med följande formel:

$$\frac{(\text{Volym i m}^3 \text{ per meter vältor}) \times (\text{Antal meter vältor})}{\text{Volym i m}^3 \text{ per meter vältor}} = \text{Antal meter vältor}$$

Nästa steg var att beräkna hur många meter vältor för respektive sortimenten som krävdes totalt för att uppfylla de tilltänkta lagervolymerna i modelleringen:

$$\frac{(\text{Volym i m}^3 \text{ per meter vältor}) \times (\text{Antal meter vältor})}{\text{Volym i m}^3 \text{ per meter vältor}} = \text{Antal meter vältor}$$

Sedan mättes det ”totala antalet meter” som den lagrade volymen hade med mätverktyget ”Measure” i ArcMap. Därefter användes ritverktyget i ArcMap för att modellera vältorna. Vältorna blev således skalenlig i längd, bredd och volym som användes för att visualisera lagerdesignerna på terminalens ortofoto.

2.2.2 Medeltransportavstånd för lastmaskinen mellan vältor och tågagn

Medeltransportavstånden i lagerdesignerna beräknades genom att transportavstånden från vältor till järnvägsspår mättes med mätverktyget ”Measure” i ArcMap. För att beräkna medeltransportavstånden användes följande formel:

$$\frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{n} = \text{Medeltransportavstånd}$$

Där X₁, X_n är de enskilda värdena av transportavstånden och n är antal värden.

Medeltransportavstånden användes sedan i hastighetsfunktionerna (kap. 3.4) i produktivetsmodellen.

2.2.3 Beräkningar för tågvolym

Beräkningarna för tågvolymerna genomfördes för att uppskatta hur mycket volym (m³f) som transporterades från terminalen för varje tåg som lastades.

$$(\text{Volym i m}^3 \text{ per meter vältor}) \times (\text{Antal meter vältor}) \times (\text{Antal tåg}) = \text{Total volym i m}^3 \text{ per tåg}$$

Den fasta vedkvoten varierade beroende på sortiment där medeldiameter, krokighet, kvistning, stamform etc. beaktades. VMF uppskattade vedkvoten till 57 % för barrträd, 65 % för klenstämmer och 45 % för lövträd.

Därefter multiplicerades gripvolymen med antal gripar som behövdes för att fylla ett tåg:

$$V_{\text{grip}} \times A_{\text{grip}} = V_{\text{tåg}}$$

För att uppskatta hur många meter vält som förbrukades för att fylla ett tåg användes följande beräkning:

$$\frac{V_{\text{tåg}}}{V_{\text{vält}}} = A_{\text{vält}}$$

2.2.4 Beräkning för omsättningshastigheten på lagren

Datat för inkörd volym från timmerbilar per dag bestod av en summa av alla sortiment. Sortimentens procentuella andelar av den sammanslagna volymen beräknades utifrån sortimentens redan lagrade volym på terminalen, enligt följande beräkningar:

$$\frac{V_{\text{lagrad}}}{V_{\text{inkörd}}} \times A_{\text{sortiment}} = A_{\text{lagrad}}$$

Därefter multiplicerades andelen lagrad volym av sortiment X med inkörd volym per dag:

$$A_{\text{lagrad}} \times V_{\text{inkörd}} = V_{\text{lagrad}}$$

Omsättningshastigheten i lagret för respektive sortiment i nulägesdesignen uppskattades med följande beräkningar:

$$\left(\frac{V_{\text{lagrad}}}{V_{\text{inkörd}}} + \frac{V_{\text{inkörd}}}{V_{\text{lagrad}}} - \frac{V_{\text{inkörd}}}{V_{\text{lagrad}}} \right)_n$$

Där n är antal tåg som avgick fullastat.

$$\begin{aligned}
 & (\text{Diagram 1} - \text{Diagram 2} - \text{Diagram 3} + \text{Diagram 4})_n \\
 & = 0
 \end{aligned}$$

I de nya lagerdesignerna var inte ”Inkörd volym” med i beräkningarna, eftersom lastmaskinen arbetade enligt uttagningsprincipen FIFO.

$$= O\left(\frac{1}{n^{\frac{1}{2} + \epsilon}}\right) = o\left(\frac{1}{n}\right)$$

Produktivitetsmodellen för järnvägsspåren sammanställdes i Microsoft Excel. Varje lagerdesigns medeltransportavstånd beräknades med beräkningen kap.2.2.2. Utifrån dessa värden beräknades lastningstiden per tåg och järnvägsspår. Utifrån beräkningarna i kap. 2.2.3 och 2.2.4 beräknades omsättningshastigheten för varje lagerdesign och dess sortiment.

2.3.1 Nyckeltal i resultatet för lagerdesignerna

25

få en uppfattning för transportavstånden från lagerytorna till tågagnarna användes även medeltransportavstånden som nyckeltal vid analyserna.

3 Resultat

3.1 Nulägesbeskrivning

3.1.1 Material – och informationsflödet på Bastuträskterminalen

Virket ankom via lastbil på terminalens östra sida. Innan virket anlände fick maskinförarna ett meddelande i sin dator med information att det snart skulle anlända virke. När lastbilar anlände till terminalen kameramättes virket och timmerchauffören gick in i stugan för att få lasten registrerad (Fig.6).

Lastmaskinförare fanns tillgängliga på terminalen under vardagar mellan klockan 06.00-14.30 för lastning av tåg. Under denna tid lossade maskinföraren även timmerbilarna som anlände till terminalen. Resterande tider på dygnet kunde timmerbilarna självlossa på terminalen. Det var dock bara tillåtet att lossa själv för chaufförerna när de ankom med barrsortimentet. Det var således enbart tillåtet att anlända med de andra sortimenten löv och klentimmer under tiden som lastmaskinförare var på plats. I stugan fanns instruktioner till chaufförerna med anvisningar vart på terminalen lossningen skulle ske.

Det fanns ingen specifik markerad lossningsplats för lastbilarna när lastmaskinerna arbetade. Anlände lastbilarna med det sortiment som lastades på tåget åkte lastbilarna fram och ställde sig längsmed tågvagnarna. Lastmaskinen lossade lastbilarna och lastade det direkt på tåget. Ankom lastbilarna med annat sortiment än vad som lastades på tåget lämnade lastmaskinen arbetet med tåget och åkte till aktuell vält där lastbilarna stod redo att bli lossade, därefter återgick lastmaskinen till arbetet med tåget.

Varje vardag under året, ankom ett tåg som lastades. När tåget anlände backade det in på terminalen. Terminalens maskinförare fick i förväg information gällande vilket eller vilka sortiment som skulle lastas och utifrån detta bestämdes det vilket spår som tåget anlände till. Gick allt enligt planerna anlände tåget varje vardagsmorgon klockan 06.00 och arbetet med lastningen skulle vara klart för avfärd senast kl.14.30. Antalet sortiment per tåg kunde variera mellan 1–3 sortiment (barr- och lövsortiment samt klintimmer). När det lastades mer än ett sortiment på ett tåg fick terminalen information om hur många vagnar och vilka vagnar som skulle lastas med respektive sortiment. Det var viktigt vid lastning av flera sortiment att det lastades på rätt vagnar, för att sortimenten skulle anlända i rätt ordning till industri.

3.1.2 Lagerstrukturen på Bastuträskterminalen

På södra delen av terminalen lagrades sortimentet barr, där fick det plats fyra vältor (Fig.6). När det lagrades material i alla fyra välorna återstod ungefär 10 meter till järnvägsspåret som behövdes till förfogande för lastmaskinernas körväg. Detta avstånd behövdes för alla lagerytor för att lastmaskinen skulle kunna vända längsmed körvägarna.

På lagerytorna mellan spåren lagerhölls tre olika sortiment. Längst ut i väst lagerhölls vältor med löv, i mitten lagerhölls barr och i öst lagerhölls klintimmer (Fig.6). På lagerytor mellan spåren rymdes sammanlagt fem vältor bredvid varandra. Anledningen till att sortimenten låg i denna ordning var för att industrin som terminalen levererade virke till alltid ville ha lövsortimentet längst fram på tåget och klintimret skulle alltid ligga längst bak.

På lagerytorna norr om gaturail-spåret i det nordvästra hörnet lagerhölls löv. Resterande yta norr om spåren bestod av en väg och det gick således inte att lagerhålla några volymer där. Tillgängligheten till denna del av lagerytan fluktuerade över året då det bara gick att köra där under sommaren när det var torrt och under vintern när det var tjäle.



Figur 6. Lagerstrukturen med sortimentsplaceringarna på Bastuträskterminalen i dagsläget.

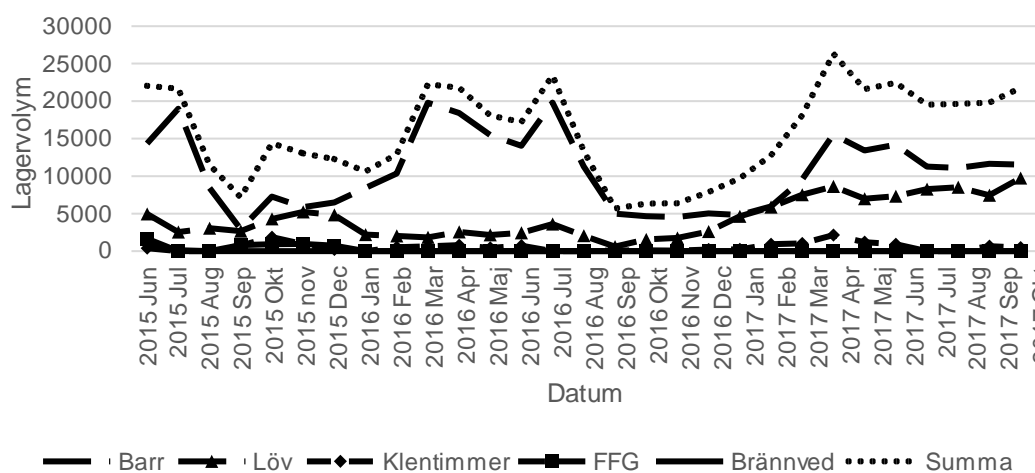
Figure 6. The current storage structure with the assortment locations at the Bastutrask terminal.

3.1.3 Lagervolym på Bastuträskterminalen

De sortiment som lagerhölls i störst volymer i nuläget var i kronologisk ordning: barr, löv och klintimmer. Utifrån figur 7 syns det tydligt hur lagerhållningen av barrsortimentet var som högst från årsskiftena fram till sensomrarna. Lagernivån av lövsortimentet var mer stabil, men hade under år 2017 vuxit. Klintimret höll en låg lagernivå över hela den studerade perioden. Frisk färsk gran hade inte lagerhållits på terminalen sedan början på december 2015. Inventeringarna av brännved indikerade på att det inte lagerhölls på terminalen sedan början på juli 2015.

Under den studerade perioden var det juli 2016 som hade den högsta lagerhållningen med en sammanlagd volym av 23 422 m³f, varav 19 807 m³f barrmassa och 3615 m³f lövmassa.

Enligt personalen på terminalen var vältornas maximala höjd 6 meter. Utifrån VMF:s historiska data uppgår vältornas maximala höjd till drygt 5 meter. Barrmassans vedlängd var i medeltal 4,35 meter, lövsortimentets vedlängd var 4,38–4,40 meter och klintimrets vedlängd var 4,25 meter.



Figur 7. Lagerstatus på Bastuträskterminalen från juni 2015 – oktober 2017 med avseende på lagrad volym (m³f) per sortiment.

Figure 7. Storage status of Bastutrask terminal from June 2015- October 2017 with storage volume (m³f) per assortment.

3.1.4 Lastningsarbetet på tåg

När tåget ankom till terminalen påbörjade lastmaskinen arbetet med att lasta tåget. Vid lastning av tåg som ankom till Bastuträskterminalen rymdes två gripar per bank och det var två banker per tågagn, vilket innebar fyra gripar per tågagn. Lastmaskinen återkom till varje bank två gånger, innan nästa bank lastades. Detta innebar att det tog 112 arbetscykler för att fylla ett tågset med 28 vagnar.

Lastmaskinen började alltid att lasta vagnen närmast loket i väst och arbetade sig österut (Fig. 8). Det fanns egentligen ingen anledning till det arbetssättet, utan det var mer att det gick snabbare i början med kortare transportavstånd, enligt maskinförarna. Detta gällde speciellt när lövsortimentet lastades från de nordligaste vältorna då transportavståndet ökade österut.

Vid lastning av hela tåg med lövsortimentet upplevde maskinförarna detta arbete som mer tidskrävande. Detta eftersom det ofta innebar långa transportavstånd på grund av att lövvältornas lagerytor var mer koncentrerade och inte låg längsmed spåret. Det var även mer tidskrävande att lasta lövsortimentet än barrsortimentet då lövstammarna ofta var krokigare. Det medförde att det krävdes mer tid att rätta till lasset så att ingen stam låg utanför tågagnen.

Vid lastning av barrsortimentet kunde maskinföraren arbeta på ett annat sätt än vid lastning av löv då barrvältorna låg parallellt med hela tågspåret. Detta bidrog till kortare arbetscykler eftersom transportavståndet mellan vältor och tågagn blev kortare (Fig. 8).

För att mottagarna på industrin skulle se skillnad på klenlimret och barrmassan på tåget som ankom med flera sortiment lastades maskinförarna en vagn med lövsortimentet som avgränsade barrsortimentet från klenlimret.

Oberoende av vilket sortiment som lastades var grundstrukturen lika vid lastningsarbetet på tåg. Alla vältor låg parallellt med spåren och material plockades

endast från vältornas långsida. Detta innebar att lastmaskinen enbart kom åt den vältan som låg närmast spåret, i de fall när flera vältor låg intill varandra.



Figur 8. Lastningsexempel av tåg. Pilarna visar vart lastmaskinen började att lasta tågagnar och vart lastmaskinen avslutade lastningsarbetet. Röd linje visar järnvägsspåret och de gula linjerna är exempel på körstråk under lastningsarbetet. Bruna vältor visualiserar barrsortimentet och vita vältor visualiserar lövsortimentet.

Figure 8. Loading example of train. The red arrows show where the loading begins and where the loading ends. The red lines symbolize the railtracks and the yellow lines are examples of the trucks working routes. Brown log piles are coniferous assortment and the white log piles are deciduous assortment.

3.2 Tidsstudie på lastmaskinens lastningsarbete på Bastuträskterminalen

Första tidsstudien av lastning på ett tågset på det nordligaste spåret hade en total arbetstid på 25 386 sekunder, vilket motsvarar 7,0157 timmar för att lasta ett tåg med 28 vagnar. Under den tiden lastades ungefär 840 m³f. I medeltal tog det 907s att lasta en vagn, motsvarande en produktivitet på 120 m³f/timme.

Arbetsmomentens antal upprepningar skiljdes åt i tidsstudien (Tabell 2). Arbetsmoment 1–4 upprepades 112 gånger, vilket krävdes för att fylla ett tåg med 28 vagnar. Arbetsmoment 5 och 6 upprepades 121 respektive 119 gånger utöver de 112 cykler som krävdes för att fylla tåget, detta för att lastmaskinen ordnade till lasten innan avgång. Arbetsmoment 7 och 8 upprepades 118 respektive 16 gånger. Dessa upprepningar gjordes främst i samband med att lasten säkrades på tågagnarna innan avgång.

Tabell 2. Resultat av tidsstudien på det nordligaste spåret med gatu-rail-spår. Definitionerna av arbetsmomenten 1-8 anges i tabell 1

Table 2. Results of the time study at the northern track with the rails at ground level. The definitions of the operation 1-8 are described in table 1

Moment-indelning	Total tid per moment (s)	Medelvärde (s)	Standardavv. (s)	Standardavv. Medelfel (s)	Konfidensintervall	Antal Cykler
1	2711	24,2	15,2	1,4	2,9	112
2	1483	13,2	4,2	0,4	0,8	112
3	2890	25,8	11,1	1,0	2,1	112
4	5600	50,0	32,5	3,1	6,1	112
5	2208	9,4	7,4	0,5	1,0	233
6	3897	16,9	19,7	1,3	2,6	231
7	5636	48,2	50,8	4,7	9,3	118
8	961	60,0	106,7	26,7	56,7	16
Summa	25 386	--	--	--	--	--

Den andra tidsstudien för det sydligare spåret hade en totaltid på 23 411 sekunder, vilket motsvarar 6,5031 timmar för att lasta ett tåg med 27,5 vagnar. Under tiden lastades ungefär 825 m³f. I medeltal tog det 851,00 sekunder att lasta en vagn, vilket motsvarar 127 m³f/timme.

Arbetsmomentens upprepningar skiljdes åt under tidsstudien (Tabell 3). När tåget ankom till terminalen var redan två banker fyllda med material sedan tidigare. Detta medförde att det krävdes 110 arbetscykler för att fylla tåget. När tåget var lastat upprepade lastmaskinföraren arbetsmoment 5 och 6, 79 gånger. Arbetsmoment 7 och 8 upprepades sammanlagt 84 respektive 14 gånger totalt under tidsstudien. Dessa upprepningar var främst i slutet när lasten säkrades innan avgång.

Tabell 3. Resultat av tidsstudien på det sydligaste spåret, med rälsen ovanför marknivå. Definitionerna av arbetsmomenten 1–8 anges i tabell 1

Table 3. Results of the time study at the southern track with rails above the ground level. The definitions of the operation 1-8 are described in table 1

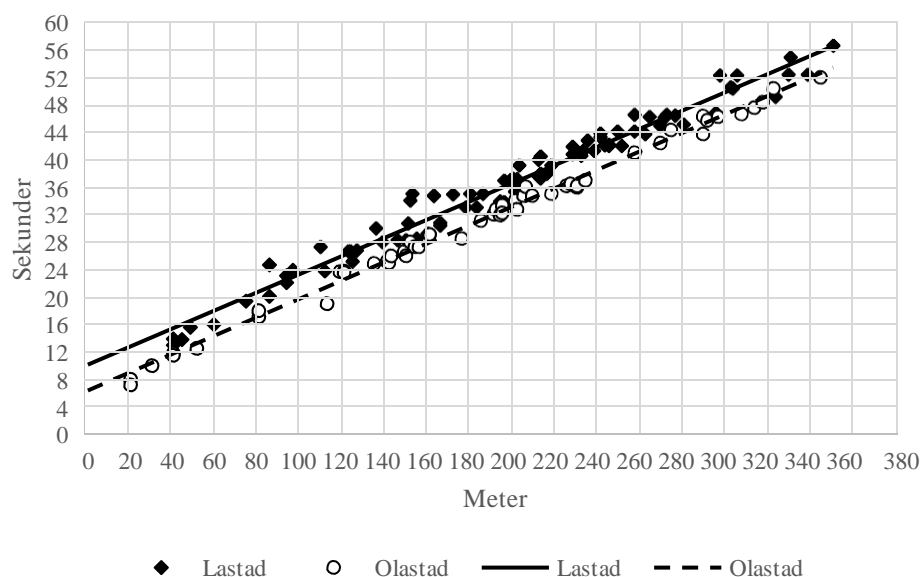
Moment-indelning	Total tid per moment (s)	Medelvärde (s)	Standardavv (s)	Standardavv. medelfel (s)	Konfidensintervall	Antal cykler
1	2832	25,8	17,7	1,7	3,3	110
2	813	7,5	2,3	0,2	0,4	110
3	2614	24,0	17,5	1,7	3,3	110
4	6730	61,8	37,1	3,6	7,0	110

5	1226	6,5	5,0	0,4	0,7	189
6	3079	16,3	17,8	1,3	2,6	189
7	5539	65,9	51,3	5,6	11,1	84
8	578	41,3	62	16,6	35,8	14
Summa	23 411	--	--	--	--	--

T-testet visade att det var signifikant skillnad mellan järnvägsspåren i arbetsmoment 2 ($p < 0,00$), arbetsmoment 4, ($p = 0,01$), arbetsmoment 5 ($p < 0,001$) och arbetsmoment 7 ($p = 0,01$). Av de signifikant skilda arbetsmomenten mellan tidsstudierna var det arbetsmoment 4 och 7 som användes i produktivitetsmodellen, arbetsmoment 2 och 5 ersattes med hastighetsfunktionerna.

3.3 Lastmaskinernas hastighet vid körning med – och utan last

Hastigheten för lastmaskinen när den körde olastad hade ett medelvärde på 5,60 m/s (standardavvikelse 0,98 m/s) vilket motsvarade 20,16 km/h. När lastmaskinen körde med last hade den ett medelvärde på 5,24 m/s (standardavvikelse 0,80 m/s), vilket motsvarade 18,86 km/h (Fig.9). Hastighetsfunktionen när lastmaskinens grip var lastad blev $y = 0,1329x + 10,068$ och hastighetsfunktionen när gripen var utan last blev $y = 0,1348x + 6,295$.



Figur 9. Linjärregression för lastmaskinens körhastighet (m/s) vid olika avstånd. Streckad linje symboliserar olastad och heltäckande linje symboliserar lastad. Lastmaskinens funktion för hastigheten

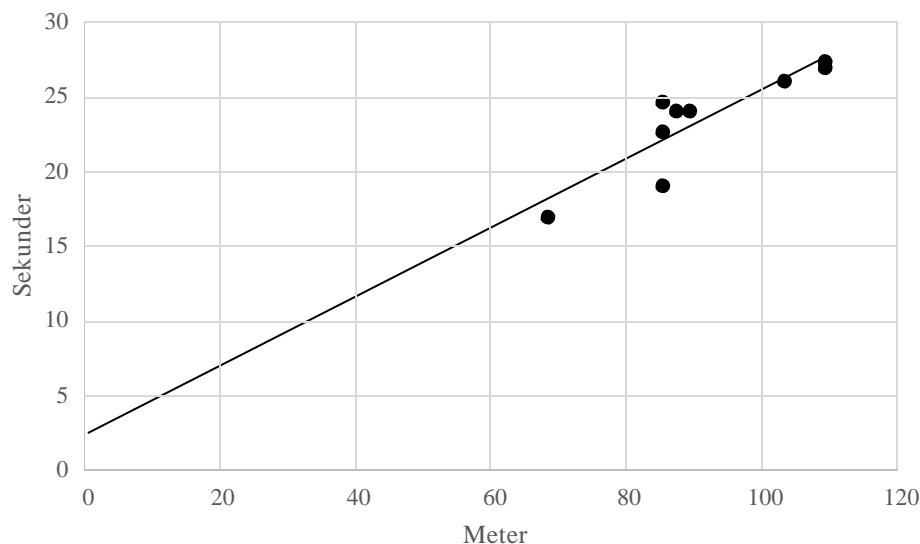
när den var lastad blev $y=0,1329x+10,068$ där $R^2=0,9712$. Lastmaskinens funktion för hastighet när den var olastad blev $y=0,1348x+6,295$ där $R^2=0,9931$. Där x är transportavstånd i meter och R^2 är en % - sats av variationen i y som kan förklaras av ändringar i x .

Figure 9. Linear regression for the trucks running speed (m/s) at different distances. the dashed line symbolizes unloaded and the solid line symbolize loaded. The loaded trucks function of speed $y=0,1329x+10,068$ there the $R^2=0,9712$. The unloaded trucks function of speed $y=0,1348x+6,295$, the $R^2=0,9931$. Where the x is the transport distance in meters and the R^2 is a % - factor of variation in y that explains by changes in x .

Dessa funktioner gällde i intervallet 20-350 meter.

3.3.1 Lastmaskinernas hastighet vid backning

Hastigheten för lastmaskinen när den backade hade ett medelvärde på 3,9 m/s (standardavvikelse 0,28 m/s), vilket motsvarade 14,04 km/h inom intervallet 68–109 meter. Hastighetsfunktionen för backning blev $y=0,2307x+2,4607$ (Fig.10).



Figur 10. Linjärregression för lastmaskinens körhastighet (m/s) vid backning med olika avstånd.

Antagande av linjärt samband utanför det insamlade värdena genom extrapolering från 68 meter ner till skärningspunkten på 0 meter. Lastmaskinens funktion för hastigheten när den backade blev $y=0,2307x+2,4607$ där $R^2=0,7821$. Där x är transportavstånd i meter och R^2 är en % - sats av variationen i y som kan förklaras av ändringar i x .

Figure 10. The linear regression of the trucks speed (m/s) reverse at different distance. Assumption of linear connection beyond the collected values by extrapolation from 68 meters down to the intersection point at 0 meters. The function for the trucks speed when it reverses is $y=0,2307x+2,4607$ where the $R^2=0,7821$. The x is the transport distance in meters and the R^2 is a % - factor of variation in y that explains by changes in x .

3.4 Lastmaskinens produktivitetsmodell

Produktivitetsmodell för lastmaskinen Volvo L180E High-lift:

$$AC = 24,9 + (0,2307x + 2,4607) + (0,1329y + 10,068) + A4 + (0,2307z + 2,4607) \\ + (0,1348w + 6,295) + A7 + 3,6$$

Där

AC= medelvärde för tidsåtgången av en arbetscykel.

24,9 = medelvärde för tidsåtgången att lasta en grip.

$0,2307x + 2,4607$ = hastighetsfunktionen vid backning, x = transportavstånd i meter.

$0,1329y + 10,068$ = hastighetsfunktionen med lastad grip, y = transportavstånd i meter.

A4= medelvärde för tidsåtgången för att lossa en grip på tågagnen, 50 sekunder på nordliga spåret och 61,8 sekunder på det sydliga spåret.

$0,2307z + 2,4607$ = hastighetsfunktion vid backning, z = transportavstånd i meter.

$0,1348w + 6,295$ = hastighetsfunktion med tom grip, w = transportavstånd i meter.

A7= medelvärde för tidsåtgången för städning av tågagn, 48,2 sekunder för det nordliga spåret och 65,9 sekunder på det sydliga spåret

3,6= medelvärde för tidsåtgången för övrigt.

T-testet visade att det signifikant skillnad mellan mätningarna i arbetsmomenten A4 och A7 beroende på vilket spår tåget stod på. Det var endast dessa medelvärden som nu ut i byttes produktivitetsmodellen beroende på vilket spår produktivitetsmodellen användes för.

3.5 Nulägesanalys

3.5.1 Lagerdesignen på Bastuträskterminalen

Terminalens lagerdesign kunde beskrivas som ett linjärt flöde av material där mottagningen var på terminalens östra sida och uttransporten av material var via järnväg i den västra delen av terminalen (Fig. 6). Det linjärformade flödet var särskilt anpassat för att lagrhålla få artiklar av stora volymer.

Eftersom terminalen hade tre olika sortiment som lagrhölls behövdes sortimenten skiljas åt. Terminalen hade zonindelad lagren för sortimenten till viss del för att hålla dem åtskilda från varandra. På terminalen lagrhölls dock inte all volym av

samma sortiment på samma ställe utan var uppdelad på olika lagerplatser på terminalen. Anledningen till varför sortimenten lagerhölls på olika ställen på terminalen var till viss del frekvensläggning för att effektivisera tåglastningen i de fall där flera sortiment lastades på samma tåg. Detta då lagerplatserna lagerhölls i samma ordning som tågen lastades och därav minimerades transportsträckorna.

Terminalen hade fasta lagerplaceringar. De hade förutbestämda lagerytor för sortimenten, men lagerytor varierade beroende på hur lagervolymer ändrades i förmån för att andra sortiment fick mer plats. Tabell 4 visar barrsortimentets förutsättningar längst i syd och tabell 5 visade lövsortimentets förutsättningar i norra delen av terminalen.

Det vanligaste tågsettet var hela barrtåg, genom att lägga hela vältor av det sortimentet längst i syd, längsmed spåret minimerades transportsträckorna. De hade korta transportsträckor (Tabell 4), men terminalens lagerdesign med placering av vältorna bidrog till inlåsnings av vältor med uttagningsprincipen SIFU (Fig.11). Detta bidrog till exempel att barrvältan längst ut i söder omsattes enbart någon gång per år, enligt anställda på terminalen. Med beräkningar på andelen inkörd volym och utkörd volym uppskattades omsättningen av barrvältorna längst i syd till ungefär 49 stycken hela barrtåg. Denna uttagningsprincip var inte lämplig när det lagerhölls material där kvaliteten försämrades med för lång lagringstid.

För att terminalen skulle kunna tillämpa uttagningsprincipen FIFO behövde lastmaskinen komma åt alla lagerplatser, samt ha ett strukturerat arbetssätt för att alltid lasta det äldsta först. I dagsläget lagerhölls inget av de sortiment som är mest kritiska för långa lagertider, som till exempel frisk färsk gran. Terminalen brukade dock få stora partier med blånad i barrsortimentet ändå, som de ville reducera.



Figur 11. Nulägesdesignen på de lagerplatser där inlåsnings effekter förekom med uttagningsprincipen SIFU. Orange färg är barrsortimentet och vit färg är löv. Barrvältorna är numrerade från 1–4, där nummer 1 är närmast järnvägsspåret. Volymerna från beräkningarna var 19 807 m³f för barrsortimentet och 3615 m³f för lövsortimentet.

Figure 11. Reference design of the storage locations where locking effect occurs with the SIFU collection principle. Orange color symbolizes the conifer and the white color symbolizes deciduous. The log piles are numbered from 1-4, where number 1 is closest to the railroad track. The volumes are 19807 m³f for the coniferous assortment and 3615 m³f for the deciduous assortment.

Tabell 4. Beräknade nyckelvärden i nulägesdesignen från den sydliga lagerplatsen med barrsortimentet utifrån produktivitetsmodellen. Där 95 % konfidensintervall var skillnaden mellan medeltidsåtgången och högsta/lägsta tidstången i produktivitetsmodellen. Transportavståndet för backning var 15 meter vid alla fyra vältorna

Table 4. Key values in the reference design from the southern storage location with coniferous based on the productivity model. Where the 95 % confidence interval is the difference between averagetime consumption and max/min time consumption in the productivity model. The transport distance for reversing is 15 meters at the southern track by all four log piles

Vält-nummer	Transportavstånd/ välta (meter)	Volym (m ³ f)	Lastning- stid/tåg (timmar)	95 % KI (lastning- stid/tåg)	Omsättning (timmar)	95 % KI (omsättning)	Omsättning (antal tåg)
1	10	4952	5,82	[4,04 7,60]	71,30	[49,46 93,14]	12,25
2	17	4952	5,88	[4,10 7,66]	72,01	[50,17 93,85]	12,25
3	23	4952	5,93	[4,15 7,71]	72,63	[50,79 94,47]	12,25
4	30	4952	5,99	[4,21 7,77]	73,34	[51,50 95,18]	12,25

Tabell 5. Beräknade nyckelvärden i nulägesdesignen från nordliga lagerplatsen med löv utifrån produktivitetsmodellen. Där 95 % konfidensintervall var skillnaden mellan medeltidsåtgången och högsta/lägsta tidstången i produktivitetsmodellen. Transportavståndet för att backa var 45 meter

Table 5. Key values in the reference design from the northern storage location with deciduous based on the productivity model. Where the 95 % confidence interval is the difference between averagetime consumption and max/min time consumption in the productivity model. The transport distance for reversing is 45 meters at the northern track

Vält-nummer	Transportavstånd/ lagerplats (meter)	Volym (m ³ f)	Lastning- stid/tåg (timmar)	95 % KI (lastning- stid/tåg)	Omsättning (timmar)	95 % KI (omsättning)	Omsättning (antal tåg)
5	215	3615	7,04	[4,71 9,37]	49,28	[32,97 65,59]	7

3.6 Nya lagerdesigner

I de nya lagerdesignerna togs hänsyn till restriktionen angående självlossning för lastbilar. Eftersom inläsningseffekterna var störst i norra delen för lövsortimentet och i den sydliga delen för barrsortimentet så genomfördes inga lagerändringar i de nya designerna mellan spåren. Detta gjorde det möjligt för lastbilarna att självlossa barrsortimentet på lagerytorna mellan spåren. Båda sortimentens lagerplatser placerades likt nulägesdesignen, det var enbart vältornas placering inom lagerplatserna som förändrades i de nya lagerdesignerna. Backsträckan för lastmaskinen var i medeltal 15 meter vid lastning av barr och 45 meter vid lastning av löv.

För att de nya lagerdesignerna skulle uppfylla syftet med uttagningsprincipen FIFO behövdes ett strukturerat arbetssätt. Vältorna behövde tömmas i rätt ordning för att uppfylla uttagningsprincipen FIFO och minimera inlåsningsrisken av vältor. Detta innebar att lastmaskinen tömde vältor från väst till öst, eller tvärtom. När de sedan lossade lastbilar började de vid vältan som först tömdes. De nya designerna krävde nya arbetssätt gällande lossning av lastbilar. I Design 1 innebar det att lastmaskinen var tvungen att lossa lastbilarna vid lagerytorna i syd på grund av att vältorna placerades vinkelrätt mot spåret. Istället var det fortfarande möjligt att lossa på lagerytan mellan spåren. I Design 2 var det möjligt för lastbilarna att självlossa både mellan spåren och på lagerytan i syd. Självlossning på lagerytan i syd var möjligt trots vinkelrätt placerade vältor mot spåret på grund av att det fanns utrymme för lastmaskinerna att köra in mellan var tredje vältor. Det krävdes dock extra struktur på arbetssättet då lastbilschaufförerna behövde ha kontroll över uttagningsprincipen så det lossades i rätt vältor.

3.6.1 Design 1

För att minimera risken för inlåsnings effekter placerades vältorna vinkelrätt mot spåren (Fig.12), vilket gjorde att alla vältor blev tillgängliga för lastmaskinen eftersom vältorna tömdes från kortändan på vältorna. Detta innebar att en ny timmergrip bör införskaffas eftersom den dåvarande gripen inte var gjord för att ta virke från kortändorna av vältorna. Lastmaskinen behövde tömma varje vältor från något av hållen och sedan skulle vältorna fyllas i samma ordning. Medeltransportavståndet för lövvältorna blev 215 meter och barrvältornas medeltransportavstånd blev 111 meter (Tabell 6).

När vältorna placerades vinkelrätt mot spåren behövdes vältstöd placeras ut vid varje vältor för att stabilisera dem och för att det skulle vara möjligt att lagra högre vältor. Detta innebar en extra kostnad vid tillämpning av denna lagerdesign.



Figur 12. Översiktsbild över Bastuträskterminalen. Lagerdesign 1, lagerplatserna numrerades 1–2, där lagerplats 1 med orangefärgade vältor (syd) visualiserade barrsortimentet och lagerplats 2 med vitfärgade vältor (norr) visualiserade lövsortimentet.

Figure 12. Overview of storage design 1. The storage locations are numbered 1–2 where the orange log piles symbolize coniferous wood and the white log piles symbolize deciduous wood.

Tabell 6. Beräknade nyckelvärden från lagerplatserna med barr- respektive lövsortimentet utifrån produktivitetsmodellen i design 1. Där 95 % konfidensintervall var skillnaden mellan medeltidsåtgången och högsta/lägsta tidstången i produktivitetsmodellen. Transportavståndet för att backa var 15 meter vid sydliga spåret och för att backa vid det nordliga spåret var 45 meter

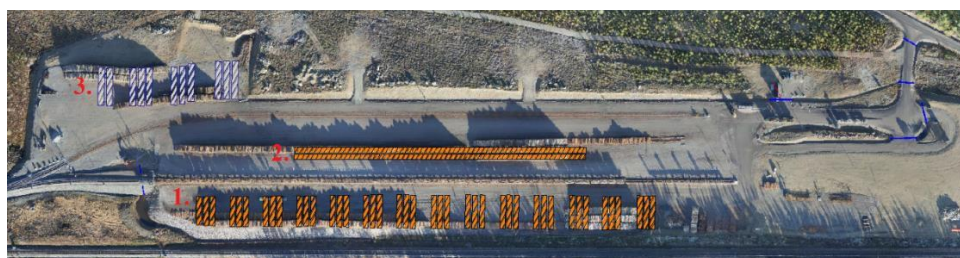
Table 6. Key values from the storage locations consisting of coniferous wood and deciduous wood based on the productivity model for design 1. Where the 95 % confidence interval is the difference between average time consumption and max/min time consumption in the productivity model. The transport distance for reversing is 15 meters at the southern track and 45 meters at the northern track

Lagerplats	Transportavstånd/ lagerplats (meter)	Volym (m ³ f)	Lastningstid/tåg (timmar)	95 % KI (lastning- stid/tåg)	Omsättning (arb.tim.)	95 % KI (arb.tim.)	Omsättning (antal tåg)
1	111	19 807	6,66	[4,88 8,44]	126,57	[92,70 160,44]	19
2	215	3615	7,04	[4,71 9,37]	28,16	[18,84 37,48]	4

3.6.2 Design 2

I denna design (Fig.13) arbetade lastmaskinen på samma sätt som i Design 1, men här kunde lastmaskinen använda nuvarande roterande timmergrip genom att köra in mellan var tredje vält och tömma vältorna från långsidorna. Lossning av lastbilarna gjordes där de första vältorna tömdes. Medeltransportavståndet i denna design blev i söder 116 meter. Lagerplatsen mellan spåren fick ett medeltransportavstånd på 32 meter. Lövvältornas medeltransportavstånd blev 264 meter på det nordliga spåret (Tabell 7).

Vältorna placerades i grupp om tre stycken för att det var det som beräknades krävas för att lasta ett helt tåg. Denna design krävde därför större lageryta än Design 1.



Figur 13. Översiktsbild på lagerdesign 2. Lagerplatserna är numrerad från 1–3 där lagerplats 1 och 2 med orangefärgade vältor (syd och mitten) är barrsortiment och lagerplats 3 med vitfärgade vältor (norr) är lövsortiment.

Figure 13. Overview of storage design 2. The storage locations are numbered 1-3 where the orange log piles symbolize coniferous wood and the white log piles symbolize deciduous wood.

Tabell 7. Beräknade nyckelvärden från lagerplatserna med barr- respektive lövsortiment utifrån produktivitetsmodellen i design 2. Där 95 % konfidensintervall var skillnaden mellan medeltidsåtgången och högsta/lägsta tidstången i produktivitetsmodellen. Transportavståndet för att backa var 15 meter vid sydliga spåret och för att backa vid det nordliga spåret var 45 meter

Table 7. Key values from the storage locations consisting of coniferous wood and deciduous wood based on the productivity model for design 2. Where the 95 % confidence interval is the difference between average time consumption and max/min time consumption in the productivity model. The transport distance for reversing is 15 meters at the southern track and 45 meters at the northern track

Lagerplat s	Transportavstånd/ lagerplats (meter)	Volym (m ³ f)	Lastning- stid/tåg (timmar)	95 % KI (lastning- stid/tåg)	Omsättning (arb.tim.)	95 % KI (arb.tim.)	Omsättning (antal tåg)
1	116	13 672	6,70	[4,92 8,48]	87,14	[63,97 110,31]	13
2	32	6135	6,00	[4,22 7,78]	36,02	[25,32 46,72]	6
3	264	3615	7,44	[5,11 9,77]	29,79	[20,47 39,11]	4

3.6.3 Design 3

Genom att flytta en vältlängd i nulägesdesignen till mittenspåret gjorde att det gick att komma åt alla vältor då det var möjligt för lastmaskinen att köra in mellan de sydligaste vältorna och därav minimerades risken för inlåsningseffekter (Fig. 14). I denna design behövdes inga vältstöd eller ny timmergrip till lastmaskinerna. Vältan längst i söder hade ett medeltransportavstånd på 410 meter då lastmaskinen behövde köra runt vältorna. Andra vältan söderifrån hade ett medeltransportavstånd på 400. Vältan närmast järnvägsspåret hade ett medeltransportavstånd på 15 meter. Vältan som ligger mellan spåren hade ett medeltransportavstånd på 32 meter. Lövvältornas medeltransportavstånd blev 215 meter (Tabell 8).



Figur 14. Översiktsbild på lagerdesign 3. Vältorna är numrerad från 1–5. Där 1–4 är vältorna för barrsortimentet som är orangefärgad och nummer 5 är lagerplatsen för lövsortimentet som är vitfärgade vältor.

Figure 14. Overview of storage design 3. The log piles locations are numbered 1-5. Where the log piles 1-4 consists of coniferous wood and log pile 5 consists of deciduous wood.

Tabell 8. Beräknade nyckelvärden från vältorna med barr- respektive lövsortiment utifrån produktivitetsmodellen i design 3. Där 95 % konfidensintervall var skillnaden mellan medeltidsåtgången och högsta/lägsta tidstången i produktivitetsmodellen. Transportavståndet för att backa var 15 meter vid sydliga spåret och för att backa vid det nordliga spåret var 45 meter

Table 8. Key values from the piles locations consisting of coniferous wood and deciduous wood based on the productivity model for design 3. Where the 95 % confidence interval is the difference between average time consumption and max/min time consumption in the productivity model. The transport distance for reversing is 15 meters at the southern track and 45 meters at the northern track.

Vält-nummer	Transportavstånd/ välta (meter)	Volym (m ³ f)	Lastning- stid/tåg (timmar)	95 % KI (lastningstid/tåg)	Omsättning (arb.tim.)	95 % KI (arb.tim.)	Omsättning (antal tåg)
1	15	4952	5,86	[4,08 7,64]	27,55	[19,17 35,93]	4,7
2	32	4952	6,00	[4,22 7,78]	28,22	[19,84 36,60]	4,7
3	400	4952	9,07	[7,29 10,85]	42,62	[34,24 51,00]	4,7
4	410	4952	9,15	[7,37 10,93]	43,01	[34,63 51,39]	4,7
5	215	3615	7,04	[4,71 9,37]	28,16	[18,84 37,48]	4

3.6.4 Sammanställning av nyckelvärden mellan nulägesdesignen och de nya designerna

Sammanställningen av nyckelvärden från designerna (Tabell 9 och 10) visade att nulägesdesignen hade lägst tidsåtgång vid lastning av ett tåg. Detta då medeltransportavståndet blev kortast (27 meter) och det var möjligt för lastmaskinen att kontinuerligt lasta det material som låg närmast den tågvagn som lastades. Nulägesdesignen hade dock lägsta omsättningshastigheten med sammanlagt 49 tåg. Design 2 hade näst lägsta tidsåtgång vid lastning av ett tåg. Det skiljde 34 minuter mellan Design 2 och nulägesdesignen, detta då Design 2 hade ett medeltransportavstånd på 116 meter med 13 672 m³f och 32 meter som medeltransportavstånd för 6135 m³f.

Design 1 i jämförelse med nulägesdesignen skiljde tidsåtgången 44 minuter att transportera samma volym. Detta berodde på att medeltransportavståndet blev 111 meter istället för 27 meter att transportera 19 807 m³f.

Det tog 11 minuter längre tid för Design 1 än för Design 2 att transportera samma volym. Design 2 hade trots det 70 % av volymen på ett längre medeltransportavstånd (116 meter) i jämförelse med Design 1 som hade all volym, 19 807 m³f, på 111 meters medeltransportavstånd.

Nulägesdesignen och Design 3 liknade varandra till designen. Tidsåtgången var dock 97 minuter längre för Design 3 att lasta samma volym som i nulägesdesignen.

Tabell 9. Sammanställning av lagerdesignernas beräknade nyckelvärden för barrsortimentet. Där 95 % konfidensintervall var skillnaden mellan medeltidsåtgången och högsta/lägsta tidstången i produktivitetsmodellen

Table 9. Summary of the storage designs key values of the assortment consisting of coniferous wood. Where the 95 % confidence interval is the difference between average time consumption and max/min time consumption in the productivity model

Design	Medelvärde Lastningstid/tåg (timmar)	95 % KI (lastningstid/tåg)	Omsättning (arb.tim.)	95 % KI (arb.tim.)	Omsättning (tåg)
1	6,66	[4,88 8,44]	126,57	[92,70 160,44]	19
2	6,48	[8,26 4,70]	123,16	[89,29 157,03]	19
3	7,52	[5,74 9,30]	141,40	[107,88 174,92]	19
Nuvarande	5,91	[4,13 7,69]	289,28	[201,92 376,64]	49

På det nordliga spåret för lövsortiment skiljde inte tidsåtgången för lastning av tåg mellan designerna, förutom Design 2 som tog 24 minuter längre tid att lasta samma volym med ett medeltransportavstånd på 264 meter istället för 215 meter som de andra designerna hade (Tabell 10).

Tabell 10. Sammanställning av lagerdesignernas beräknade nyckelvärden av lövsortimentet. Där 95 % konfidensintervall var skillnaden mellan medeltidsåtgången och högsta/lägsta tidstången i produktivitetsmodellen

Table 10. Summary of the storage designs key values of the assortment consisting of deciduous wood. Where the 95 % confidence interval is the difference between average time consumption and max/min time consumption in the productivity model

Design	Medelvärde Last- ningstid/tåg (timmar)	95 % KI (lastningstid/tåg)	Omsättning (arb.tim)	95 % KI (arb.tim)	Omsättning (tåg)
1	7,04	[4,71 9,37]	28,16	[18,84 35,48]	4
2	7,44	[5,11 9,77]	29,79	[20,47 39,11]	4
3	7,04	[4,71 9,37]	28,16	[18,84 35,58]	4
Nuvarande	7,04	[4,71 9,37]	49,28	[32,97 65,59]	7

4 Diskussion

4.1 Resultat

4.1.1 Nulägesbeskrivning

Historiskt sett hade frisk färsk gran lagerhållits på terminalen, orsaken till att de slutat med det kunde bero på att kvaliteten på råvaran hann försämrats på terminalen på grund av inläsningseffekter. Det kunde även bero på att regionen som terminalen är belägen inom består mestadels av talldominerad skog. Resultatet från de nya lagerdesignerna bidrog till att terminalen kunde utvidga utbudet av olika råvaror som har mer kritiska lagertider. Det fanns inte någon lagerbrist på terminalen utifrån designerna som var byggd med den historiskt mest lagrade volymen på totalt 23 422 m³f.

4.1.2 Tidsstudie

Maskinförarna på terminalen upplevde att lövsortimentet generellt tog längre tid att lasta än barrsortimentet, med avseende på sortimentens olika egenskaper. Produktivetsmodellen användes på sydliga spåret för att lasta barrsortimentet, även fast tidsstudien bakom produktivetsmodellen baserades på lövsortimentet. Detta kan ha inneburit att resultatet gällande barrsortimentet hade längre tidsåtgång i studien än i verkligheten, om det var så att lövsortimentet tog längre tid att lasta. Beroende på sortimentsval vid tidsstudien bör det ha tagits i beaktning vid användning av produktivetsmodellen. Det fanns dock inte tid för att göra ännu en tidsstudie vid lastning av barrsortimentet. I slutändan påverkade detta inte resultatet i studien negativt eftersom syftet var att studera om lastningstiden översteg terminalens tågtider, vilket det inte gjorde.

Arbetsmoment 2, när lastmaskinen backade från vältan, hade längre tidsåtgång på det nordliga spåret. Förklaringen till denna signifikanta skillnad var att lagerplatsen där lövvältorna lagrades i det nordligaste hörnet var placerad en bit innanför körstråket. Detta gjorde att det blev en kurva mellan körstråket, som löpte parallellt norr om järnvägsspåret, och vältorna. Lastmaskinen tvingades backa en längre sträcka på det nordliga spåret, i jämförelse mot sydliga spåret, för att räta upp lastmaskinen rakt mot körstråket.

Arbetsmoment 4, lossa material på vagnen, hade längre tidsåtgång på det sydliga spåret. Det kunde bero på att det sydliga spåret var upphöjt från marknivå, medan nordliga spåret var på marknivå. Detta påverkade förmodligen lastningsarbetet på tågagnarna eftersom arbetet genomfördes på en högre höjd, som kan ha gjort det svårare för maskinföraren att se om materialet lastades rätt i vagnen. Detta med tanke på att det sammanlagt varierade 19 minuter mellan samma arbetsmoment på de olika spåren.

Arbetsmoment 5, backning efter att lastmaskinen lossat material på tågagnen, hade längre tidsåtgång på det nordliga spåret. Förklaringen kan ha varit att maskinföraren inte hade möjlighet att vända lastmaskinen, eftersom det norr om det nordliga spåret bara var en smal körväg. Det fanns en stickväg halvvägs efter körvägen som maskinföraren kunde vända på, vilket gjorde att halva sträckan tvingades maskinföraren att backa. Genom att bredda körvägen till 10 meter eller göra fler vändplatser längsmed vägen borde därav effektivisera lastningstiden på det nordliga spåret.

Arbetsmoment 7, städmomentet i tidsstudien, hade längre tidsåtgång på det sydliga spåret. Detta bör ha samma förklaring som i arbetsmoment 4 när maskinföraren arbetade på högre höjd med gripen. Det gjorde det svårare för maskinföraren att se hur materialet lossades på vagnen och försvårade således arbetet för föraren.

4.1.3 Lastmaskinens medelhastighet

Vid kompletteringen av mätningar av lastmaskinens hastighet fanns en risk att maskinföraren kunde ha ändrat sitt beteende genom att köra i högre hastighet när föraren var medveten om att köra under tidtagning. Detta skulle således gett felaktiga data, även kallad Hawthorne-effekt, beskrivet i McCambridge m. fl (2003). Vid analysarbetet fanns dock ingen signifikant skillnad i hastighet när maskinföraren var medveten om att tidtagning genomfördes och när maskinföraren var omedvetandes att tidtagning genomfördes.

Medelhastigheten för lastmaskinen vid körning utan last var 6,9 % högre (20,16 km/h) än medelhastigheten vid körning med last (18,86 km/h). Berglund (2014) hade i en studie om Kåge sågverk, genomfört en hastighetstudie på maskinerna som arbetade på timmerplanen. I den studien var ”Traktor 150” den maskin som hade högst medelhastighet med och utan last. Den maskinen hade en medelhastighet på 13,84 km/h utan last och 11,17 km/h med last, det vill säga 23,9 % högre hastighet vid olastad körning. I Berglund (2014) studie var timmerplanen dock mer komplex, med fler kurvor vid lagerplatserna. I en intervju nämnde maskinförarna att det var mycket trafik inne på timmerplanen. Detta gjorde att de kände sig osäkra när det var flera lastmaskiner och även personbilar som passerade timmerplanen på Kåge såg. På Bastuträskterminalen körde lastmaskinen mestadels rakt fram längsmed spåret och det var ingen trafik inne på området, förutom att lastbilar inkom ibland. Detta kan ha medfört att Bastuträskterminalen hade en högre medelhastighet. Maskintyp kan även ha en inverkan gällande acceleration, samt hur långa sträckor som kördes.

Beaudoin, LeBel & Soussi (2012) hade i deras studie genomfört en hastighetsmätning av tre lastmaskiner på en timmerplan där körvägarna var mer linjeformad likt Bastuträskterminalen. Deras lastmaskiner av märkena Tanguaya, Liebherr och Volvo hade en medelhastighet inom intervallet 25–30 km/h. Lastmaskinens medelhastighet på Bastuträskterminalen ansågs rimlig utifrån lastmaskinens körstråk, i jämförelse med tidigare studiers medelhastighet och deras körstråk. Något som bör tas i beaktan vid dessa studier är att medelhastigheter påverkas av omgivningen, till exempel gällande trafik och kurvor.

Datainsamlingen från arbetsmomentet för backning innehöll endast nio upprepningar inom intervallet 68–109 meter. Medeltransportavstånden för backning var generellt kortare i modellen (15–45 meter) än vad det insamlade datamaterialet bestod av. Detta tyder på att medelhastigheten utifrån insamlat datamaterial var högre än vad medelhastigheten hade varit om intervallet av datainsamlingen var mer anpassat till modellens transportavstånd. Hastighetsfunktionen som skapades utifrån det insamlade data gav därav troligen en högre medelhastighet. Den högre medelhastigheten kan ha påverkat totala tidsåtgången, som blev kortare än i verkligheten. Detta skulle ha kunnat påverka total lastningstid per tågset, dock marginellt då arbetsmomentet endast utgör en mycket liten del av totala arbetet.

4.1.4 Produktivitetsmodell

Den totala lastningstiden per arbetscykel (exklusive arbetsmomenten för medelhastigheterna) var intervallet 107,4–257 sekunder på nordliga spåret med ett medelvärde på 182,4 sekunder (+/- 74,9 sekunders skillnad), utifrån ett beräknat 95

%-igt konfidensintervall. På det sydliga spåret var intervallet 137,6–252 sekunder med medelvärde på 194,8 sekunder (+/- 57,2 sekunders skillnad) utifrån ett beräknat 95 %-igt konfidensintervall för lastning av tåg. Det bör ses som representativ variation i arbetscykler då standardavvikelserna från varje arbetsmoment var hög i förhållande till produktivitetsmodellens totala variation. De höga värdena på standardavvikelserna tyder på att varje arbetsmoment hade stor variation vid varje upprepning. Produktivitetsmodellen baserades på G0-timmar, vilket medförde att tidstillägg kunde förekomma i form av störningar.

Produktivitetsmodellen bör kunna implementeras i andra typer av studier gällande tidsåtgång för lastmaskinen av modellen Volvo L180E High-lift. Hastighetsfunktionerna för modellen var dock beräknad för sträckor mellan 20–350 meter för att vara representativa data för modellen. Modellen tog inte hänsyn till kurvor, som skulle sänka lastmaskinens hastighet. Modellen bör därför inte användas på terminaler eller timmerplaner med många kurvor, åtminstone bör hänsyn för det beaktas vid implementering av mer komplexa lagerdesigner.

4.1.5 Nya lagerdesigner

Resultaten från studien visade att nulägesdesignen hade lägst tidsåtgång att lasta ett tåg, vilket var förståeligt då medeltransportavståndet blev avsevärt mycket kortare än i de andra designerna som presenterades. Nackdelen var att nulägesdesignen hade inläsningseffekter som i längden påverkade råvarans kvalitet negativt. Inläsningseffekterna bidrog även till att omsättningen av råvaran blev längre än i de nya lagerdesignerna. Björklund & Frisch (2016) hade i en liknande studie för Domsjö Fibers lagerytor haft liknande resultat, vid minimering av inläsningseffekter och hög omsättningshastighet ökade medeltransportavståndet för lastmaskinerna på timmerplanen.

Omsättningen av lagret i nulägesdesignen var beräknat utifrån medelvärden i inkörd volym och utkörd volym från terminalen. Uppskattningen var att det tog 49 fullastade barrtåg med 28 vagnar för att omsätta lagret, när medelvärdet för inkörningstakten var 691 m³f barmassa per arbetsdag. Resultatet förutsatte att det avgick ett tåg om dagen med barr, vilket det inte gjorde i verkligheten. Enligt anställda på terminalen uppskattades att de kom åt den innersta vältan i syd cirka 1–2 gånger per år. Uppskattningen utifrån beräkningarna bör överensstämma med vad de anställda påstod med hänsyn till att det inte avgick ett barrtåg varje vardag.

Den design som bör vara mest relevant att fortsatt undersöka är Design 1, då den var mest praktiskt tillämpbar för Bastuträskterminalen. Design 2 var snarlik Design

1, men den krävde större lageryta. I Design 2 blev det mer arbete att ta sig in mellan vältorna, och det krävde ännu mer disciplin gällande arbetsstruktur för att det skulle fungera. Tidsåtgången för att lasta ett tåg i Design 2 var lägre än Design 1.

Design 3 var mest lik nulägesdesignen, dock var det designen med längst medeltransportavstånd. Denna design krävde inga investeringar i vältstöd eller ny grip, dock ökar dieselkostnaderna med ökat medeltransportavstånd. Det fanns även en risk att utrymmet för lastmaskinen mellan vält 3 och 4 var smalt, som kunde bidra till en lägre hastighet för lastmaskinen på grund av den smala körvägen. Lägre hastighet bidrog till ökad tidsåtgång per arbetscykel. Tidsåtgången var i medelvärde 7,52 timmar på sydliga spåret. Det innebär att det inte fick förekomma några tidskrävande störningar för att tågen skulle hinna lastas klart innan avgång, med tanke på att produktivetsmodellen baserades på G0-timmar.

Det gick inte att påverka lagerdesignen så mycket gällande lagerytan i nordliga hörnet för lövsortimentet på grund av att det enbart var ett körstråk norr om det nordligaste spåret. Anmärkningsvärt var dock när vältorna placerades vinkelrätt mot spåret ökade omsättningshastigheten på lagret från 7 tåg till 4 tåg.

Resultaten visade att de nya designerna hade negativ inverkan på tidsåtgången, i jämförelse med nulägesdesignen, vid lastning av barrsortimentet. De nya lagerdesignernas ökade tidsåtgång påverkade dock inte tågtiderna. Till följd av de nya designerna försämrades marginalerna ifall några oväntade fel inträffade. I slutändan bör en avvägning göras av terminalens anställda om det skulle vara värt den extra tidsåtgången för att öka omsättningshastigheten på lagret som skulle bidra till bättre kvalitet på råvaran som lagrades.

Resultaten från de nya lagerdesignerna visade att det krävdes relativt små förändringar för att omstrukturera lagret för att minska eventuella inlåsningseffekter. Genom att modellera lagerdesigner i ArcMap och genomföra beräkningar i Microsoft Excel var det möjligt att med enkla medel strukturera om lagret med realistiska volymer och avstånd. Det var således en billig och mindre tidskrävande metod att teoretiskt studera vilken design som kunde implementeras för alla typer av terminaler eller timmerplaner i praktiken.

4.2 Osäkerhet i studien

Omsättningshastigheten beräknades utifrån inkörd volym (via timmerbil) och utkörd volym (via tåg). Den inkörda volymen var baserad på tre månaders

sammanslagen volym av alla sortiment. I studien uppskattades sortimentens andelar av den totalt inkörda volymen per dag. Inkörd och utkörd volym av de olika sortimenten fluktuerade över året. Detta medförde att resultatets omsättningshastighet kunde variera beroende på årstid, samt beroende på industriernas inkörning- och utkörningstakt över året.

Modelleringarna och beräkningarna av vältorna i de nya designerna kunde ha varit en underskattning av de faktiska volymerna. Vältorna blev avsevärt mycket kortare när de placerades vinkelrätt mot spåren. Volymförlusten ökade förmodligen när vältans sluttning var en större andel av den totala vältan, för att minska rasrisken. Det kunde även ha blivit en volymförlust vid implementering av vältstöd på grund av att dess konstruktion täcker en viss andel av lagerytorna. Följderna av att volymerna i vältorna skulle vara mindre i praktiken än i teorin var att fler vältor behövdes för att lagra samma volym. Detta skulle påverka den totala tidsåtgången för att lasta ett tåg, eftersom det skulle öka medeltransportavstånden.

Medeltransportavståndet för backning var svår att mäta i modelleringen. Det genomfördes därav en uppskattning på dessa avstånd. På det sydliga spåret uppskattades 15 meter utifrån information angående lastmaskinens vändradie. På det nordliga spåret var inte det aktuellt då det inte gick att vända överallt längsmed spåret. Det gjordes därför en uppskattning på medeltransportavståndet för backning. Backsträckan uppskattades till 45 meter, efter att med hjälp av ArcMap mätt ut transportavstånd längsmed det nordliga spåret.

4.3 Framtida studier

I denna studie var fokus på att modellera nya lagerdesigner för att minimera inlåsningseffekter. Det som inte beaktades i detta var andra maskintyper. För att komplettera denna studie bör det finnas intresse i att studera om det skulle vara effektivare att investera i en annan maskintyp, som gör det möjligt att komma åt alla vältor med nulägesdesignen. Exempel på detta skulle vara att genomföra en liknande studie som denna fast med en materialhanterare som kan nå alla vältor och på så sätt minimera risken för inlåsningseffekter.

4.4 Slutsats

Resultatet av nulägesdesignen på Bastuträskterminalen, med uttagningsprincipen SIFU, bidrog till inlåsningseffekter i lagret med lägre omsättningshastighet av råvarorna i lagret. Genom att ändra lagerdesign till uttagningsprincipen FIFU

minimerades inlåsnings effekterna och omsättnings hastigheten på lagret ökade. Tidsåtgången gällande lastnings arbetet på tåg ökade generellt i de nya lagerdesignerna med avseende på barrsortimentets lageryta. Lastningstiden för lövsortimentets lageryta i de nya designerna skiljde inte från nulägesdesignen, förutom i Design 2 där tidsåtgången ökade med 24 minuter. De nya lagerdesignernas ökade tidsåtgång gällande lastnings arbetet på barrsortimentet påverkade i slutändan inte tågtiderna för Bastuträskterminalen. De nya designerna medförde nytt arbetssätt med ökad struktur för maskinförarna som arbetade på terminalen. Arbetssättet var att lagerytorna skulle tömmas i en speciell ordning, samt att lagerytorna skulle fyllas på i en speciell ordning för att uttagningsprincipen FIFO skulle fungera i praktiken. Vissa av de nya lagerdesignerna krävde investeringar i form av vältstöd och ny grip till lastmaskinen. Detta medför i sin tur ökade lagerhållningskostnader, vilket inte har beaktats i denna studie.

5 Referenser

- Beaudoin, D., LeBel, L., & Soussi, M. A. (2012). *Discrete event simulation to improve log yard operations*. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 50(4), 175–185.
- Berglund, M. (2014). *Logistisk optimering av timmerplan – En fallstudie av Kåge såg. Institutionen för skogens produkter*. SLU. Uppsala. (Examensarbete. 2014:135).
- Björklund, M., & Frisch Eriksson, D. (2016). *En ekonomisk och logistisk analys av utbyggnad och strukturering av lager hos Domsjö fabriker*. Umeå. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Enström, J., Athanassiadis, D., Grönlund Ö. & Öhman, M. (2013). *Framgångsfaktorer för större skogsbränsleterminaler*. Uppsala: Skogforsk. Tillgänglig: [https://www.skogforsk.se/content-assets/5828510ce81a47c3849b4385e2b8aed0/framgangsfaktorer-for-storre-skogsbransleterminaler.pdf](https://www.skogforsk.se/contentassets/5828510ce81a47c3849b4385e2b8aed0/framgangsfaktorer-for-storre-skogsbransleterminaler.pdf) (2018-02-01)
- Fjeld, D., & Dahlin, B. (2008). *Nordic logistics handbook: Forest operations in wood supply*. Umeå: Helsinki: Sveriges lantbruksuniversitet; Helsinki universitet.
- Jonsson, P., & Mattsson, S. (2005). *Logistik: Läran om effektiva materialflöden*. Lund: Studentlitteratur.
- Jonsson, P., & Mattsson, S. (2011). *Logistik: Läran om effektiva materialflöden* (2., [rev.] uppl. ed.). Lund: Studentlitteratur.

Jonsson, P., & Mattsson, S. (2016). *Logistik: Läran om effektiva materialflöden* (3., [rev.] uppl. ed.). Lund: Studentlitteratur.

Kardell, L., Wennerberg, A., & Sverige. Skogsstyrelsen. (2004). *Svenskarna och skogen. D. 2, Från baggböleri till naturvård*. Jönköping: Skogsstyr:s förl.

Lumsden, K. (2006). *Logistikens grunder* (2.,[utök. och uppdaterade] uppl. ed.). Lund: Studentlitteratur.

McCambridge, J., Witton, J., Elbourne, D.L. (2013) *Systematic review of the Hawthorne effect: New concepts are needed to study research participation effects*.

Olhager, Jan. *Produktionsekonomi: principer och metoder för utformning, styrning och utveckling av industriell produktion*. 2., [rev.] uppl. Lund: Studentlitteratur, 2013.

Olsson, Henny, and Sörensen, Stefan. *Forskningsprocessen: kvalitativa och kvantitativa perspektiv*. 2. uppl. Stockholm: Liber, 2007.

Patel, R., & Davidson, B. (2011). *Forskningsmetodikens grunder: Att planera, genomföra och rapportera en undersökning* (4., [uppdaterade] uppl. ed.). Lund: Studentlitteratur.

Pewe, U., Berglind, G., Paulsson, C., & Sveriges exportråd. (1993). *Lönsam logistik: Lönsam fysisk distribution och dess förutsättningar*. Stockholm: Sveriges exportråd: Industrilitteratur.

Skogsstyrelsen (2014). *Skogsstatistik årsbok 2014*. Jönköping: Skogsstyrelsen. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/historisk-statistik/skogsstatistisk-arsbok-2010-2014/skogsstatistisk-arsbok-2014.pdf> (2018-02-01)

Storhagen, N. (2011). *Logistik: Grunder och möjligheter* (4. uppl. ed.). Malmö: Liber ekonomi.

Tahvanainen, T., & Anttila, P. (2011). Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3360–3375.

Yin, R., & Retzlaff, J. (2013). *Kvalitativ forskning från start till mål* (1. uppl. ed.). Lund: Studentlitteratur.

Internet:

<http://bastutraskterminalen.se/om-oss/>

(2017-09-27)

Volvoce.com (2018-02-09). *Volvo hjullastare L180E High-lift*. Tillgänglig:

<https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/global-site/product-archive/documents/03-wheel-loaders/09-volvo-f-series/v-l180e-h-l/v-l180eh-l-121-2372-0208.pdf?v=FSEyPw>

Volvoce.com (2018-03-08). *Volvo hjullastare avfallshantering*. Tillgänglig:

<https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/global-site/product-archive/documents/03-wheel-loaders/09-volvo-f-series/all-common/v-l60e-l220ewaste-1226692671-0405.pdf?v=ECEyPw>